N° d'ordre : 301

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

Gérard SEGUIN

MAÎTRE-ASSISTANT

LES SOLS DE VIGNOBLES DU HAUT-MÉDOC INFLUENCE SUR L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE ET SUR LA MATURATION DU RAISIN

Soutenue le 25 novembre 1970, devant la Commission d'Examen :

MM. J. RIBÉREAU-GAYON, Professeur ..... *Président*

M. GOTTIS, Professeur .....
J. BOUARD, Maître de Conférences .....
R. BLANCHET, Docteur ès Sciences, Directeur de la Station d'Agronomie de Toulouse ..... } *Examinateurs*
E. PEYNAUD, Docteur-Ingénieur .....

— 1970 —

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543508_0002

N° d'ordre : 304

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

Gérard SEGUIN

MAÎTRE-ASSISTANT

LES SOLS DE VIGNOBLES DU HAUT-MÉDOC INFLUENCE SUR L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE ET SUR LA MATURATION DU RAISIN

Soutenue le 25 novembre 1970, devant la Commission d'Examen :

MM. J. RIBÉREAU-GAYON, Professeur ..... *Président*

M. GOTTIS, Professeur .....
J. BOUARD, Maître de Conférences .....
R. BLANCHET, Docteur ès Sciences, Directeur de la Station d'Agronomie de Toulouse ..... *Examinateurs*
E. PEYNAUD, Docteur-Ingénieur .....

— 1970 —

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

ERSITÉ
RDEAUX

FACULTÉ DES SCIENCES

351, COURS DE LA LIBÉRATION - TALENCE (GIRONDE)
TÉL. BORDEAUX (56) 92.92.61

Doyens honoraires

M. BRUS
M. CALAS

Doyen

M. VALADE

Professeurs honoraires

M. KASTLER	*Professeur à la Sorbonne*
M. PISOT	*Professeur à la Sorbonne*
Mlle JOSIEN	*Professeur à la Sorbonne*
M. MILLOUX	
M. DANGEARD	
M. CAU	
M. GENEVOIS	

Professeurs

M. ROUSSET	*Physique générale*
M. ROGER	*Mécanique rationnelle*
M. WEILL	*Anatomie comparée et embryogénie*
M. DUFRESNOY	*Mathématiques générales*
M. LAFON	*Physiologie générale*
M. BOUNHIOL	*Biologie animale*
M. SERVANT	*Physique*
M. CALAS	*Chimie organique*
M. GAY	*Cristallographie et minéralogie*
M. PACAULT	*Chimie physique*
M. DAVID	*Physiologie végétale*
M. BLAIZOT	*Physiologie de la nutrition*
M. COLMEZ	*Méthodes mathématiques de la physique*
M. CAMBAR	*Biologie animale*
M. VIGNEAUX	*Géologie*
M. PANOUSE	*Zoologie*
M. ARZELIES	*Physique(détaché à la Faculté des Sciences du Maroc).*
M. RIBEREAU-GAYON	*OEnologie et Chimie agricole*
M. RISS	*Mathématiques*
M. GUIZONNIER	*Physique*
M. HAGET	*Zoologie expérimentale*
M. SEMIROT	*Astronomie*
M. CHASTEL	*Physique nucléaire*
M. HAGENMULLER	*Chimie minérale*
M. CREAC'H	*Biologie animale*
M. LOUDETTE	*Mécanique physique*
M. PATY	*Chimie*
M. BORDES	*Préhistoire*

M. SECHET	*Botanique*
M. BAGANAS	*Mathématiques*
M. VALENTIN	*Radioélectricité*
M. ENNOUCHI	*Géologie*
M. EYME	*Botanique*
M. RUAMPS	*Physique électronique*
M. FRAINNET	*Chimie organique*
M. HOARAU	*Chimie physique*
M. MARCHAND	*Chimie*
M. LALANDE	*Chimie appliquée*
M. GOTTIS	*Géologie dynamique*
M. LEMANCEAU	*Chimie*
M. CARDO	*Psychophysiologie*
M. ROCH	*Physique*
M. BELLON	*Chimie (détaché à la Faculté des Sciences du Maroc).*
M. CLASTRE	*Cristallographie physique*
M. JOUSSOT-DUBIEN	*Chimie*
M. VALADE	*Chimie organique*
M. SURDIN	*Automatique*
M. LABOUESSE	*Biochimie*
Mlle LAFITTE	*Physique*
M. CLIN	*Géologie*
M. DESTRIAU	*Chimie*
M. BOTHOREL	*Chimie*
M. BLONDEL	*Mathématiques*
M. LOCHET	*Physique*
M. LASCOMBE	*Chimie*
M. RIMPAULT	*Physique théorique*
M. ANDRE	*Zoologie et physiologie animale*
M. AUROUZE	*Hydrogéologie*
M. HAUGAZEAU	*Informatique*
M. FRESNEL	*Calcul infinitésimal*
M. SOURISSEAU	*Chimie*
M. VINDT	*Biologie végétale*
M. REGNIER	*Mathématiques*
M. PETIT	*Physique corpusculaire*
M. BARAUD	*Chimie biologique*
M. EMBERGER	*Géologie*
M. CHARRU	*Physique*
M. SIMONOFF	*Chimie physique*
M. BARETS	*Biologie animale*
M. PINEAU	*Chimie*
M. LEVEQUE	*Géologie approfondie*
M. BOUSSEAU	*Physique*
M. MENNRATH	*Physique*
M. BOUAS-LAURENT	*Chimie organique*
M. RIBEREAU-GAYON P.	*Chimie oenologique*
Mlle DUTRIEU	*Physiologie animale*
M. MOYES	*Géologie*
M. BERNET	*Génétique*
M. LUTZ	*Botanique*
M. MOULINES	*Chimie*
M. POUCHARD	*Chimie minérale*

M. DRESS	*Mathématiques*
M. ARTOLA	*Mathématiques*
M. MENDES-FRANCE	*Mathématiques*

Maître de conférences honoraire

M. DE PUYMALY

Maîtres de conférences

Mme PETIT	*Physique*
M. SARDOS	*Physique*
M. DUMERY	*Mécanique*
M. GARNIER	*Biophysique*
M. LESCA	*Mathématiques*
M. MARTINET	*Mathématiques*
M. BOUARD	*Biologie végétale*
M. MINNAERT	*Physique théorique*
M. ABGRALL	*Physique théorique*
M. DE MATHAN supp.M.DAMEY	*Mathématiques*
M. BOISSEAU	*Biologie générale*
M. NASLAIN	*Chimie minérale*
M. ONILLON	*Chimie minérale*
M. HOGBE	*Mathématiques*

Conseiller Administratif

M. LLORENS

Le sujet de cette étude nous a été proposé par M. le Professeur J. RIBEREAU-GAYON, Directeur de l'Institut d'OEnologie de l'Université de Bordeaux, qui nous a continuellement guidé et conseillé et a su nous encourager tout au long d'un travail parfois difficile ; qu'il veuille bien trouver ici le témoignage de notre respectueuse et profonde reconnaissance.

M. PEYNAUD, Directeur du Service des Recherches à la Station agronomique et œnologique de Bordeaux, a bien voulu s'intéresser à cette étude et nous faire profiter de son extrême compétence scientifique et technique, ainsi que de ses précieux conseils ; nous lui exprimons notre plus sincère gratitude.

Nous remercions vivement M. GOTTIS, Professeur, M. BOUARD, Maître de Conférences et M. BLANCHET, Directeur de la Station d'agronomie de Toulouse (I. N. R. A.), qui ont accepté de juger ce travail et de faire partie du jury de thèse.

Nous tenons à exprimer notre plus vive reconnaissance à M. le Professeur DUCHAUFOUR, Directeur du Centre de Pédologie biologique de Nancy et à M. JACQUIN, Professeur à l'Ecole nationale supérieure agronomique de Nancy, pour leurs encouragements et leurs conseils.

Nos très cordiaux remerciements vont aussi à tout le personnel de la Station agronomique et œnologique de Bordeaux et plus particulièrement à M. COMPAGNON et à Mlle AUGUSTIN, sans qui une partie de ce travail n'aurait pu être menée à bien.

Que les propriétaires et régisseurs des différents châteaux où ont été effectuées les études trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude.

LES SOLS DE VIGNOBLES DU HAUT-MEDOC

INFLUENCE SUR L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE

ET SUR LA MATURATION DU RAISIN

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION	1
HISTORIQUE	2
1. influence des facteurs naturels sur la régulation des températures	4
2. Influence de la nature physico-chimique du sol	7
3. Conclusion	8
PREMIERE PARTIE	
DESCRIPTION ET ETUDE ANALYTIQUE DES SOLS DU HAUT-MEDOC VITICOLE	
I - DIFFICULTES d'ETUDES	10
1. Relatives à la qualité des vins	10
2. Relatives aux sols de vignobles	10
II - METHODES D'ETUDES	13
1. Profils	13
2. Echantillons prélevés	14
III - ORIGINALITE DU HAUT-MEDOC VITICOLE	16
1. Situation géographique	16
2. Formations géologiques	18
3. Climat	18
IV - ETUDE DE PROFILS DE SOLS MEDOCAINS	20
1. Région de Margaux	20
2. Région de Pauillac et Saint-Julien	34
3. Région de Saint-Estèphe	49
4. Cas particuliers	58
A. Sols formés sur alluvions récentes	58
B. Sols saturés d'eau	60

Pages

V - CARACTERES ESSENTIELS DES SOLS MEDOCAINS 67

1. Profil radiculaire de la vigne suivant la nature du sol 67
2. Texture des sols 71
3. Humidité équivalente 71
4. Matière organique 73
5. Complexe absorbant et alimentation minérale de la vigne 75
6. Concrétionnements ferriques 81
7. Hétérogénéité des sols à l'intérieur d'un même cru 83

DEUXIEME PARTIE

ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE DANS LES SOLS DU HAUT-MEDOC VITICOLE

I - TECHNIQUES D'ETUDES ET SOLS ETUDIES 85

1. Etudes de profils hydriques : l'humidimètre à neutrons 85
2. Etude du régime de l'eau 88
3. Etude du microclimat 89
4. Etude de la maturation du raisin 89
5. Sols étudiés 90

II - REGIME DE L'EAU 91

1. Variations du niveau des nappes phréatiques 91
2. Capacité de rétention et eau utile du sol 93
3. Epaisseur de la frange capillaire 94
4. Répartition des eaux de pluie dans le sol au cours de l'été 94

III - ABSORPTION DE L'EAU PAR LA VIGNE 105

1. Avant la véraison du raisin 105
2. Pendant la maturation du raisin 106

Pages

IV - IMPORTANCE DE L'EVAPOTRANSPIRATION AU COURS DE LA MATURATION DU RAISIN 107

1. Evapotranspiration réelle et potentielle 107
2. Evapotranspiration réelle en 1966 109
3. Evapotranspiration réelle en 1967 112
4. Evapotranspiration réelle en 1968 114

V - INFLUENCE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE SUR LA MATURATION DU RAISIN ET LA QUALITE DES VINS 115

1. Influence sur la production de sucres 115
2. Influence sur l'acidité du raisin 119
3. Influence sur le développement de la pourriture grise 125
4. Influence sur la qualité des vins 129
5. Influence de la richesse du sol sur la constitution des moûts 130
6. Action régulatrice du sol 131

CONCLUSIONS GENERALES 133

BIBLIOGRAPHIE 138

- I N T R O D U C T I O N -

Divers travaux ont été consacrés à l'origine et à l'histoire des grands vignobles. ENJALBERT (1954) et DION (1959) ont montré que des facteurs historiques et commerciaux ont déterminé l'implantation des vignobles le long des grandes voies de navigation car, dans les premiers siècles de notre ère, le problème était d'acheminer le vin vers les pays nordiques (Angleterre, Hollande) qui en étaient de grands consommateurs. A une époque où les communications terrestres étaient longues, difficiles, coûteuses et parfois dangereuses, les régions possédant un débouché naturel sur la mer étaient grandement favorisées. Mais l'installation du vignoble dans le Bordelais, région extra-méditerranéenne où la vigne ne trouve que peu de conditions favorables à son développement, fut assez difficile et, selon ENJALBERT (1954), les vins produits au Moyen Age n'étaient guère meilleurs que nos vins actuels de consommation courante.

Au début du XVIIIème siècle, l'Angleterre et la Hollande abandonnèrent le marché bordelais pour aller s'approvisionner en Espagne et surtout au Portugal. Pour reconquérir leurs anciens débouchés, les Bordelais furent obligés d'offrir un vin d'une qualité supérieure à celui présenté par leurs concurrents. C'est à partir de cette époque que les efforts conjugués des viticulteurs et du négoce ont permis de créer les "grands vins rouges de Bordeaux" (ENJALBERT 1954; ZAMORANO, 1964). Ces efforts ont porté notamment sur la sélection des cépages et des meilleurs sols à vigne ainsi que sur l'amélioration des techniques de vinification, de conservation et de vieillissement du vin.

Mais des vignobles autrefois prospères ont aujourd'hui disparu ; dans d'autres régions, il a fallu distiller un vin de mauvaise qualité pour pouvoir l'écouler. Les facteurs naturels ont donc joué un rôle dans la réussite que connaissent les grandes régions viticoles. Si des facteurs historiques, géographiques, commerciaux et humains ont présidé à l'établissement et à l'amélioration des vignobles, si le rôle de l'homme est encore considérable, il faut cependant admettre que les caractères des vins sont étroitement liés à la nature du cru que l'on peut définir comme une association en un lieu donné du sol, du micro-climat et de la plante.

Un des buts de cette étude était donc de rechercher, dans la région médocaine, les facteurs naturels et plus particulièrement ceux liés à la nature du sol, qui semblent avoir la plus grande influence sur la qualité des vins.

- H I S T O R I Q U E -

Les ouvrages traitant des sols de vignobles et de leurs rapports avec les caractères des vins sont en nombre restreint. La question est effleurée dans quelques traités de viticulture générale où l'on parle des sols de vignobles d'une manière assez vague : le plus souvent, ils sont définis seulement par la nature de la roche-mère et par la texture des couches les plus superficielles. Parmi les nombreux traités de viticulture, dont on trouvera la liste dans les références bibliographiques, le plus intéressant et le plus complet concernant les relations entre les facteurs naturels et les caractères des vins est celui de BRANAS et al. (1946).

Parmi les ouvrages qui traitent plus particulièrement de la région bordelaise, il faut signaler en premier lieu " La vigne dans le bordelais " de PETIT-LAFITTE (1868). Bien que datant d'un siècle, ses études ne manquent pas d'intérêt : des observations minutieuses lui ont permis de mettre en évidence le rôle joué par les facteurs naturels dans la régulation des températures.

COCKS et FERET, dans "Bordeaux et ses vins" (1922), étudient l'histoire des grands crus ; mais, pour ce qui concerne les sols, ils se contentent d'en donner une définition texturale assez vague et d'indiquer la nature de la roche-mère.

Dans "La culture de la vigne dans le bordelais" LAFFORGUE et THIERY (1929) fournissent quelques valeurs numériques concernant les pourcentages de terre fine et les teneurs en azote, potassium et acide phosphorique.

ABDEL HALIM (1932) étudie les divers types de sols rencontrés en Médoc. La place consacrée aux sols de vignobles est assez réduite ; les analyses sont rares et incomplètes ; les observations les plus intéressantes concernent les relations entre l'épaisseur de la couche graveleuse et la qualité des vins.

" Les Graves de Bordeaux " (LAFFORGUE et al, 1936) constitue le premier travail vraiment scientifique. Bien que déjà ancienne et ne traitant que des vignobles se trouvant aux alentours immédiats de Bordeaux, cette étude nous fournit des renseignements précieux concernant les sols de vignobles établis sur les alluvions quaternaires de la Garonne. De nombreux profils ont été étudiés et analysés. On ne trouve pas, dans les tableaux analytiques, les résultats concernant les teneurs en carbone et la capacité totale d'échange mais les analyses sont suffisamment détaillées pour donner une bonne idée de la nature des horizons rencontrés dans chaque profil.

Nous avons également utilisé pour réaliser ce travail les résultats d'une première étude ayant fait l'objet d'une thèse de troisième cycle (SEGUIN, 1965).

Ces différents ouvrages vont nous permettre de dégager quelques généralités intéressantes mais qui, le plus souvent, relèvent davantage de l'observation et de l'empirisme que d'une véritable étude scientifique.

1. INFLUENCE DES FACTEURS [illegible] SUR LA REGULATION DES TEMPERATURES -

On connaît depuis longtemps l'influence des conditions de température sur la croissance de la vigne et la maturation du raisin : mais ce qui importe plus que leur valeur moyenne, c'est la régularité de leur répartition au cours de l'année.

Les températures moyennes peuvent subir des variations importantes d'un jour à l'autre, mais les plus grands écarts sont ceux qui se produisent entre le jour et la nuit. PETIT-LAFITTE (1868) fut un des premiers à montrer l'influence des facteurs naturels sur la régulation des températures (à court et à long termes) dans le Bordelais. Par la suite, de nombreux auteurs ont repris ses idées et les ont appliquées à d'autres régions viticoles. Les facteurs naturels ayant la plus grande influence sur la régulation des températures et par conséquent sur la maturation du raisin sont : la proximité d'un plan d'eau ou d'une forêt, l'exposition du vignoble, le relief et la couleur du sol, la présence de cailloux.

a. Les plans d'eau -

Les masses importantes d'eau (océans, lacs) s'échauffent et se refroidissent lentement, diminuant ainsi l'amplitude des variations annuelles de température dans les régions côtières. D'un autre point de vue, la vapeur d'eau émise arrête pendant le jour une partie des radiations solaires et s'oppose pendant la nuit au rayonnement de la chaleur : les écarts de températures entre le jour et la nuit sont diminués à proximité de plans d'eau importants. On observe donc une double régulation dans le temps : à l'échelle du jour et de l'année. Ces effets sont d'autant plus sensibles que la superficie des plans d'eau est grande. L'action régulatrice des lacs (lac Léman) ou des cours d'eau (Garonne, Loire, Saône, Rhône...) est plus faible que celle des océans mais n'est cependant pas négligeable : de nombreux auteurs considèrent que la proximité des cours d'eau est un facteur favorable à la production de vins de qualité.

b. Les forêts -

Les forêts jouent un rôle analogue à celui des plans d'eau : grâce à la vapeur d'eau qu'elles émettent, elles diminuent l'amplitude des variations journalières de températures. Mais le refroidissement accompagnant l'émission de vapeur d'eau est souvent la cause des gelées printannières en bordure des bois. Dans certains cas, elles peuvent constituer un obstacle pour les vents frais et salés venant

de la mer. La forêt qui borde les vignobles de la rive gauche de la Garonne pourrait avoir un tel rôle (PETIT-LAFITTE, I868).

c. Le relief du sol -

De nombreux vignobles sont situés sur les pentes bordant le cours d'un fleuve. Toutefois, les fonds de vallées sont peu favorables à la culture de la vigne : le soleil s'y couche tôt et s'y lève tard. En outre, l'air froid plus dense glisse le long des pentes et s'accumule dans les bas-fonds ; la valeur des températures minimales est abaissée pendant la nuit : le nombre et l'intensité des gelées augmente. Pendant le jour, la chaleur réverbérée par les flancs de la vallée augmente la valeur des températures maximales. Il s'agit donc de sites où les grands écarts de températures entre le jour et la nuit sont peu favorables à une maturation régulière du raisin. D'une manière générale, toute forme concave du sol augmente l'amplitude de la variation diurne tandis que toute forme convexe tend à la diminuer (BRANAS et al., I946). En Médoc par exemple, les grands crus sont situés sur le sommet ou les pentes des croupes bordant le cours de la Gironde, jamais dans les bas-fonds.

d. L'exposition -

La durée d'insolation d'un vignoble dépend de son orientation. Théoriquement, la plus mauvaise est l'exposition au nord et la meilleure l'exposition au sud. En fait, la plupart des grands vignobles sont orientés vers l'est (Nord-Est, Est, Sud-Est). Ils reçoivent les premiers rayons du soleil qui évaporent lentement la rosée de la nuit, limitant ainsi le refroidissement provoqué par une évaporation brutale. L'ombre survient tôt au cours de l'après-midi mais l'air se refroidit progressivement faisant une lente transition avec la fraîcheur de la nuit (LAFFORGUE et al., I936 ; BRANAS et al., I946 ; MARRES, I950).

e. La température des basses couches de l'atmosphère -

De CANDOLLE et RAVAZ (cités par BRANAS et al., I946) estiment que la chaleur du sol a peu d'action sur les phénomènes végétatifs de la vigne à l'exception, semble-t-il, de l'apparition des pleurs (HOUDAILLE). C'est essentiellement la température des basses couches de l'atmosphère qui détermine la physiologie des plantes et du raisin.

La surface du sol cède de la chaleur aux basses couches de l'atmosphère par réflexion et rayonnement. La température de l'air mesurée en été à 0,5 mètre au-dessus du sol peut être supérieure de 2°C à celle mesurée à 1,5 mètre (BRANAS et al., 1946). Dans les régions extra-méditerranéennes, la culture de la vigne au ras du sol permet donc d'obtenir un supplément de chaleur précieux tandis que, dans le midi de la France, ce procédé est également utilisé chaque fois que l'on veut obtenir un vin de qualité (BRANAS et al., 1946).

f. La couleur du sol -

L'absorption et la réflexion de la chaleur dépendent essentiellement de la couleur du sol. Les sols de couleur sombre (sols humifères, sols riches en oxydes de fer) réfléchissent peu de chaleur et en absorbent beaucoup. Au cours de la nuit, ils restituent à l'atmosphère la chaleur qu'ils ont emmagasinée : la valeur des températures minimales nocturnes est plus élevée sur les sols de couleur foncée. Les sols clairs (certains sols calcaires, sols graveleux) absorbent peu de chaleur mais en réfléchissent beaucoup : les températures maximales diurnes y sont élevées et les risques de grillage importants. On évite donc de placer des cépages rouges au-dessus de sols clairs : à cause de leur couleur, les raisins rouges absorbent plus de chaleur que les raisins blancs et risquent de griller. Une règle assez générale veut que l'on cultive les cépages blancs sur sols clairs et les cépages rouges sur sols foncésmais cette règle n'a rien d'absolu et il existe de nombreuses exceptions.

g. Les cailloux -

Le rôle et l'importance des cailloux sont bien connus depuis les études de PETIT-LAFITTE (1868) dans la région bordelaise. Au cours de la journée, la couche graveleuse de couleur claire recouvrant le sol réfléchit la lumière et la chaleur, irradiant ainsi le dessous de la grappe qui ne l'est pas directement par les rayons solaires si bien que le raisin est alors placé entre "deux soleils". Ces éléments siliceux, volumineux, secs et bons conducteurs de la chaleur, emmagasinent en même temps de grandes quantités de chaleur qu'ils restituent à l'atmosphère au cours de la nuit : les "graves" évitent donc au raisin le refroidissement brutal qui suit le coucher du soleil. Ces effets calorifiques des cailloux sont d'autant plus importants que la vigne est cultivée plus près du sol comme c'est le cas en Médoc. Dans d'autres régions viticoles, on observe les mêmes phénomènes, quelle que soit la nature des cailloux (siliceux ou calcaires).

En outre, les cailloux formant une couche continue à la surface du sol limitent les pertes d'eau par évaporation, processus qui réduit la production de froid due à l'évaporation et assure la conservation de l'eau dans les terrains secs (PETIT-LAFITTE, 1868). Le rôle des cailloux est d'autant plus important que la quantité de terre fine se trouvant entre les graves est faible. En Médoc, beaucoup de sols possèdent des pourcentages élevés de terre fine (60 à 70 % en moyenne) mais cette terre fine entraînée par les pluies laisse les graves nues à la surface du sol où elles forment un revêtement pratiquement continu (SEGUIN, 1965). Dans certains vignobles, on utilise des techniques de labour qui évitent le mélange des cailloux et de la terre fine (on n'utilise pas la charrue mais l'araire qui ramène les cailloux en surface). Lorsque les quantités de cailloux recouvrant le sol sont insuffisantes, certains viticulteurs pratiquent des empierrements (DUMAS et al., 1946).

2. INFLUENCE DE LA NATURE PHYSICO-CHIMIQUE DU SOL.

L'influence de la nature physico-chimique du sol est encore mal connue.

a. De nombreux auteurs admettent que les sols riches et argileux sur calcaire conviennent mieux à la "vigne blanche" qu'à la "vigne rouge". En fait, cette "règle" souffre de nombreuses exceptions : l'exemple de certains crus de Saint-Emilion montre que l'on peut obtenir d'excellents vins rouges sur des sols argileux ou calcaires.

b. La pauvreté du sol semble être un caractère indispensable à la production d'un vin de qualité.

c. L'influence de la matière organique et des divers anions et cations du sol sur les caractères des vins, donne lieu à des interprétations souvent hypothétiques.

d. La présence d'"alios" dans les sols des Graves et du Médoc est traditionnellement considérée comme un facteur de qualité.

e. La plupart des auteurs reconnaissent, et l'expérience le prouve sans contestation possible, que les sols très humides doivent être rejetés si l'on cherche à obtenir un vin de qualité.

f. L'existence de plusieurs types de sols à l'intérieur d'un même cru semble être également un facteur de qualité. En effet, lorsqu'on étudie les sols des crus les plus célèbres, on observe cette hétérogénéité : c'est le cas pour le château d'Yquem en Sauternais (KUHNHOLTZ-LORDAT, 1953), pour le château Haut-Brion (Graves), pour le château Latour (Médoc) (LAFFORGUE et al., 1936) ainsi que pour de nombreux grands crus du Médoc (SEGUIN, 1965).

g. Les Graves de Bordeaux (qui sont le prolongement géographique du Médoc vers le sud) représentent la seule région viticole du Bordelais dont les sols ont été étudiés d'une manière systématique. Les auteurs(LAFFORGUE et al., 1936)ont montré, pour la région considérée, l'importance de la nature géologique de la roche-mère, du site et du degré d'évolution des sols. Ils estiment que les meilleurs vins rouges sont produits sur la terrasse a^{1a} (quaternaire ancien) de la Garonne, en position favorable à une évolution des sols aboutissant à la formation de "sols bruns lessivés et de podzols". Mais, plus qu'à l'ancienneté de la terrasse, c'est à la position topographique qu'ils attachent la plus grande importance : les meilleurs crus se rencontrent en "position topographiquement aride".

3. CONCLUSION -

Si on fait le point des connaissances actuelles concernant le vignoble bordelais, on constate :

- que l'influence des facteurs naturels sur la régulation journalière et annuelle des températures n'a pas échappé à de nombreux observateurs mais que cette connaissance est beaucoup plus empirique que scientifique.

- qu'à l'exception de la région très limitée des Graves de Bordeaux, les sols du vignoble bordelais sont encore mal connus. Ceux des grands crus médocains notamment, n'ont été que rarement étudiés et s'ils l'ont été ce fût, le plus souvent, d'une manière incomplète et trop superficielle.

Les raisons de cette carence bibliographique viennent de la difficulté de telles études dont nous reparlerons plus loin mais surtout du fait que la France est un vieux pays de tradition agricole où l'empirisme a suppléé, en partie du moins, au manque de connaissances scientifiques. Actuellement, des problèmes se posent chaque jour et l'on peut penser qu'une meilleure connaissance des sols peut contribuer à les résoudre.

Première partie

DESCRIPTION ET ETUDE ANALYTIQUE DES SOLS

DU HAUT-MEDOC VITICOLE

I - DIFFICULTES d'ETUDES

1. RELATIVES A LA QUALITE DES VINS

a)- Difficulté de définir la qualité des vins .

Lorsqu'on veut étudier l'influence du sol sur la culture d'un produit agricole, le critère le plus intéressant et le plus facile à considérer est le rendement. Il n'en est pas de même pour les vins de qualité ; ici, le viticulteur ne recherche pas tant une production importante (le rendement est limité par une législation sévère) ni même un degré alcoolique élevé (la teneur en alcool de certains grands millésimes du Médoc dépasse à peine 11°) que la meilleure qualité possible. Or, si un bon dégustateur peut porter un jugement sur la qualité du vin, il n'est pas possible de la mesurer scientifiquement. Des facteurs facilement déterminables tels que le pH, l'acidité totale, le degré alcoolique, l'acidité volatile, etc.,influent sur la qualité des vins mais ce sont de nombreux corps, encore mal connus et à l'état de traces, qui en font la délicatesse et l'harmonie.

b)- Influence des facteurs économiques sur la qualité du vin.

A des facteurs historiques et économiques anciens qui ont favorisé certaines régions viticoles, viennent s'ajouter des facteurs que l'on pourrait qualifier de microéconomiques. Un grand cru vend son vin à des prix suffisamment élevés pour se permettre d'apporter les meilleurs soins à tous les niveaux de son élaboration : entretien du vignoble, vendanges, vinification, conservation, etc. Pendant les période de crise, les propriétaires ont fait les mêmes frais pour conserver intact le domaine ancestral et pour continuer à produire un vin de qualit (LOUSTAUNAU de GUILHEM, 1956; ZAMORANO, 1964). Pendant ces périodes difficiles, le petit propriétaire dont le domaine est voisin du "grand château" ne peut se permettre de tels frais. Au cours des âges, les sols de son vignoble moins bien entretenus se dégradent et, à partir du raisin récolté, il n'obtient pas toujours le meilleur vin possible. Ainsi, pour des raisons uniquement financières, s'accentuent des différences entre deux vignobles qui, au départ, avaient vraisemblablement les mêmes potentialités.

Les dégradations résultant d'un mauvais entretien du sol sont beaucoup plus importantes qu'on ne le croit généralement. On peut en voir une illustration frappante dans un grand cru de la région de Margaux où, à la suite d'un remembrement, une petite parcelle a été incorporée dans la propriété. Cette parcelle qui pourtant appartenait à un grand château ne recevait que de rares soins en raison de son éloignemer Malgré les apports importants de fumures organiques et minérales pratiqués par le propriétaire actuel, on identifie encore l'ancien emplacement de ces quelques rangs de vigne (en oblique par rapport à la direction actuelle des rangs) à la couleur claire du sol et à l'aspect peu vigoureux des ceps si on les compare à ceux replantés en même temps et ayant reçu les mêmes soins.

c)- Le sol et la qualité du vin.

Nous savons qu'il existe des relations entre la nature des sols et les caractères des vins. Elles sont pourtant très difficiles à établir car le vin n'est pas le produit direct du sol et de la vigne : il n'est que l'aboutissement d'une longue chaîne qui, partant du sol, passe par la vigne, le raisin, le moût, le vin jeune, pour se terminer par la vieille bouteille qu'une longue conservation dans une cave a bonifiée (RIBEREAU-GAYON et PEYNAUD, 1960). La valeur du vin dépend donc, pour une très grande part, des soins apportés à tous les niveaux de son élaboration. Même si à partir d'un raisin donné, on était sûr d'obtenir le meilleur vin possible, il faudrait également tenir compte de l'influence de facteurs autres que le sol (conditions climatiques et microclimatiques, nature et proportion des cépages et des porte-greffes, mode de conduite de la vigne, etc.). Or il est pratiquement impossible de modifier ces facteurs de manière à étudier l'influence d'un seul qui serait le sol.

2. RELATIVES AUX SOLS DE VIGNOBLES

L'extension du système radiculaire de la vigne dont nous aurons l'occasion de reparler, nécessite l'étude de profils jusqu'à de très grandes profondeurs. Le prélèvement d'échantillons à la tarière n'est qu'un pis-aller car,dans ces conditions, il est impossible d'observer avec précision la répartition des racines dans les différentes zones du sol.

L'expérimentation qui pourrait être utile dans une telle étude est, sinon impossible, du moins très difficile. Eliminons tout de suite les possibilités d'expériences en cases lysimétriques qui, en raison de l'énorme extension de son système radiculaire, placeraient le cep dans des conditions tout à fait anormales. L'expérimentation sur le terrain nécessiterait des parcelles identiques, d'une grande étendue,

présentant une même exposition, une même topographie et une parfaite homogénéité physique et chimique. Ces conditions étant réunies, il s'agirait alors d'expériences de longue durée et qui ne seraient valables que pour le type de sol étudié. On est donc contraint de se limiter à l'étude des vignobles tels qu'ils existent avec tout ce que cela comporte d'inconvénients.

Les sols de vignobles ont été complètement modifiés par une monoculture séculaire. Les apports d'engrais et d'amendements divers (composts, fumier, terre de bruyère, gadoues, marnes, engrais minéraux etc.) enfouis à des profondeurs variables venant s'ajouter à des défonçages profonds et assez fréquents (tous les 40 à 50 ans) ont complètement modifié la nature physico-chimique des couches superficielles du sol. Il est donc extrêmement difficile de définir avec précision le type pédologique de ces sols. La vigne elle-même peut modifier d'une manière notable les caractéristiques du sol. Au cours d'une étude que nous avons faite dans la région de Saint-Emilion (SEGUIN, 1965) nous avons pu comparer trois types de sols établis sur la même roche-mère (argiles du Sannoisien) en topographie horizontale. Les trois profils étudiés (sous prairie permanente, sous bois et sous vigne) étaient situés aux sommets d'un triangle équilatéral ayant un côté d'environ 100 mètres. Le sol ayant évolué sous prairie présentait des signes très poussés d'hydromorphie avec de nombreuses concrétions noires (fer et manganèse) de 1 à 3 cm de diamètre et une alternance de couleurs ocre et gris-bleu en profondeur. A l'époque des observations (au début du mois de mars), on pouvait voir un plan d'eau à 50 cm de la surface. Dans les sols ayant évolué sous bois et sous vigne cette nappe n'existait pas ; les signes d'hydromorphie étaient rares sous bois et à peine plus prononcés sous vigne. Grâce à la profondeur et au diamètre de leurs racines, les arbres et la vigne ont amélioré le drainage des sols, permettant ainsi l'écoulement des eaux de pluies et limitant les phénomènes d'hydromorphie. Les différences de végétation entraînant des différences dans la nature de la matière organique et dans les conditions de drainage, ont eu pour conséquence des modifications importantes de la teneur en carbone, de l'état de la structure et du complexe absorbant de ces sols (SEGUIN, 1965). Il est donc difficile de comparer un sol de vignoble avec un sol qui n'a jamais porté de vigne : dans certains cas, on peut même se demander si l'on a planté de la vigne dans ces sols parce qu'ils étaient de "bons sols à vigne" ou s'ils le sont devenus parce que l'on y a cultivé de la vigne pendant des siècles.

II. METHODES d'ETUDES

I. PROFILS.

Dans un premier temps, nous avons étudié des profils de sols dans quelques grands crus caractéristiques du Médoc. Les emplacements de ces profils ont été choisis en fonction de la topographie de l'aspect du sol et de la vigne, de la nature de la végétation adventice (assez rare) et surtout des conseils du propriétaire ou du régisseur qui connaissent les caractères essentiels de leurs sols. A quelques exceptions près, qui seront signalées par la suite, il a été choisi dans chaque cru plusieurs points caractéristiques des sols de la propriété.

Pour étudier ces sols d'une manière détaillée, nous avons creusé une tranchée entre deux rangs de vigne. Les profils ainsi obtenus ont été décrits suivant les méthodes utilisées en pédologie classique. A partir de - 60 à - 100 cm, on retrouve les horizons peu remaniés des sols originels mais leur partie superficielle, d'aspect assez homogène, est toujours modifiée physiquement et chimiquement. On observe parfois des couches argileuses, plus ou moins bien individualisées dans un ensemble gravelo-sableux. Il s'agit de "marnes" que les "Montagnols", Pyrénéens qui, saisonnièrement, venaient défoncer à la pioche les sols du vignoble médocain, enfouissaient en même temps que de la terre de bruyère à une profondeur de 80 à 100 cm.

Au cours de la description des profils, le nombre, la direction, les dimensions et la densité des racines ont été notés soigneusement, ainsi que leur répartition en fonction des couches qu'elles rencontraient. Des échantillons ont été prélevés en vue d'une étude au laboratoire.

L'extension en profondeur du système radiculaire de la vigne nous a amené, dans un deuxième temps, à effectuer des forages à la tarière de 200 mm jusqu'à des profondeurs atteignant 11 mètres. Les échantillons prélevés ont permis d'étudier la constitution du sol sur toute la hauteur exploitée par les racines.

Après séchage à l'air, les échantillons ont été passés tamis de 2 mm afin de séparer la "terre fine" des éléments grossiers et de déterminer le pourcentage de chacune des fractions.

La composition granulométrique a été déterminée par méthode de Mériaux, à l'exception des forages (profils n°2, 4, 5, 11 et 1. dont la texture a été étudiée par la méthode de Robinson. Dans quelques ca la nature minéralogique des argiles a été déterminée par diffraction aux rayons X.

La structure des différents échantillons n'a pas fait l'objet d'études spéciales. La présence de cailloux de grandes dimensions rendait impossible les études de porosité par prélèvement au cylindre ou à l'aide d'un densitomètre à membrane. Dans quelques cas, lorsque la cohésion des échantillons était suffisante, on a déterminé la densité apparente par immersion des mottes dans le mercure. Si la porosité totale n'a pu être déterminée sur tous les échantillons, on peut avoir une idée de la microporosité à partir des résultats concernant l'humidité équivalente ; quant au degré d'aération, il a été défini lors de la description des profils

La détermination de l'humidité équivalente est une mesure de laboratoire, effectuée sur la terre fine, qui permet d'obtenir une valeur proche de la capacité de rétention. On élimine l'eau qui, normalement, s'écoule par gravité grâce à une force plus importante que la gravité mais appliquée pendant un temps beaucoup plus court. Nous avons utilisé la méthode de LEBEDEFF qui a été modifiée en tenant compte des travaux de BONNEAU (1961) : centrifugation pendant 10 minutes avec des accélérations de 1000 g pour les textures argileuses (plus de 40 % d'argile et moins de 40 % de limon), de 130 g pour les textures sableuses (plus de 50 % de sable et moins de 20 % d'argile), et de 360 g pour les textures intermédiaires.

Le potentiel capillaire représente l'énergie avec laquelle l'eau est retenue par le sol. On l'exprime généralement par le pF qui est le logarithme de la pression en cm d'eau. Les valeurs du pF correspondant à la capacité de rétention varient de 2 (pour les textures sableuses) à 3 (pour les textures argileuses). La valeur du pF correspondant au point de flétrissement permanent est d'environ 4,2 quelle que soit la texture du sol.

Le potentiel capillaire n'a pas été mesuré. Lorsqu'on parle du pF et de ses variations, on se réfère à la teneur en eau du sol par rapport à la capacité de rétention. Il faut cependant signaler que, pour une teneur en eau donnée, le pF varie suivant que le sol est en voie d'humectation ou de dessication.

Le carbone organique a été dosé par la méthode ANNE légèrement modifiée : pour complexer le fer ferrique, le fluore de sodium a été remplacé par l'acide orthophosphorique.

La matière organique totale a été calculée, approximativement, en multipliant la teneur en carbone par 1,72.

Les acides humiques et fulviques ont été déterminés par la méthode de DUCHAUFOUR et JACQUIN (extraction au pyrophosphate de sodium à 0,1 N ; précipitation des acides humiques par H_2SO_4 pur à raison de 1% du volume de l'extrait ; dosage du carbone à partir des extraits contenant les acides humiques et fulviques).

L'azote total a été dosé par la méthode de Kjeldahl.

La capacité totale d'échange (T) a été déterminée par la méthode Metson.

Les cations métalliques échangeables ont été dosés sur le percolat à l'acétate d'ammonium neutre et normal : le sodium, le potassium et le calcium par spectrophotométrie d'émission (photométrie de flamme), le magnésium et le cuivre par spectrophotométrie d'absorption (colorimétrie).

La somme des cations métalliques échangeables (S) a été obtenue par addition des différents cations dosés.

Le taux de saturation du complexe absorbant (V=100 S/T) a été calculé. En présence de calcaire actif, le complexe absorbant est pratiquement saturé en Ca^{++}. Dans les tableaux analytiques, le signe + indique un large excès de calcium; le complexe absorbant est alors saturé (Sat.).

Le pH a été mesuré dans l'eau et dans le chlorure de potassium normal avec un rapport sol/liquide : 1/2,5.

Le "calcaire total" a été déterminé à l'aide du calcimètre de Bernard et le calcaire actif par la méthode DROUINEAU-GALET.

L'acide phosphorique assimilable a été déterminé par la méthode de l'Ecole des Eaux et Forêts (DUCHAUFOUR, 1965).

Le fer libre a été dosé par la méthode DEB modifiée.

Le fer soluble dans l'acide chlorhydrique concentré (Fer S.A.) a été déterminé par attaque à HCl (ébullition pendant 1 heure) après avoir détruit la matière organique par calcination.

Les résultats ont été exprimés en pour cent de terre fine séchée à l'air, à l'exception de ceux concernant la capacité totale d'échange, les cations métalliques échangeables et leur somme qui ont été exprimés en milliéquivalents pour 100 g de terre fine séchée à l'air (la teneur en cuivre échangeable a été exprimée en p. p. m.).

III. ORIGINALITE DU HAUT-MEDOC VITICOLE.

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Géographiquement, le Médoc est formé par un vaste triangle dont les côtés sont : la Gironde au nord-est, l'Océan Atlantique à l'ouest et une ligne joignant Bordeaux à Arcachon au sud. La plus grande partie de ce territoire est occupée par le prolongement de la forêt landaise tandis que le Médoc viticole est limité à une bande d'une dizaine de kilomètres de largeur et de 80 km de longueur bordant la rive gauche de la Gironde. Bien que l'aspect d'ensemble de la région soit uniforme et que l'altitude décroisse progressivement de Bordeaux à l'Océan, on a coutume de distinguer le Haut et le Bas-Médoc. Le Haut-Médoc, où l'on rencontre les meilleurs crus, est situé dans la "partie haute" du fleuve, c'est-à-dire du côté de Bordeaux. Son altitude moyenne est de 20 à 25 mètres. Il est limité au nord par la commune de Saint-Seurin de Cadourne et au sud par la Jalle de Blanquefort (Fig. 1).

Le vignoble s'étend sur une série de croupes graveleuses en pente douce, séparées par des bas-fonds marécageux où coulent les "jalles", petits ruisseaux assurant l'écoulement des eaux de l'arrière-pays. (Dans ces bas-fonds, on ne rencontre jamais de vignes produisant un vin de qualité). A l'ouest, les vignobles possédant l'appellation Haut-Médoc s'étendent jusqu'à la forêt de pins maritimes tandis que vers l'est, ils descendent jusqu'à la Gironde, s'arrêtant à la limite des palus. En allant de Bordeaux vers l'embouchure de la Gironde, les crus les plus célèbres se rencontrent sur les croupes de Margaux, de Saint-Julien-Pauillac et de Saint-Estèphe.

Les vignes, généralement exposées au nord-est, sont cultivées traditionnellement au ras du sol à raison de 6 000 à 10 000 pieds par hectare. Les cépages les plus répandus sont : le cabernet-sauvignon, le cabernet franc et, plus rarement, le malbec et le petit verdot. Les rendements sont faibles et limités, suivant les régions, à 34 ou 36 hectolitres de vin par hectare.

Cette région qui, a priori, semble peu favorisée, produit des vins rouges d'une qualité exceptionnelle. Dès le dix-huitième siècle une classification des crus a été établie, classification qui fut codifiée en 1855 par la Chambre de Commerce de Bordeaux et qui, à quelques exceptions près, est toujours la même de nos jours. En allant du meilleur vers le moins bon on distingue : les premiers, seconds, troisièmes, quatrièmes et cinquièmes crus auxquels il convient

Fig. 1 - CARTE DU MEDOC VITICOLE

les crus bons bourgeois, les crus bourgeois ordinaires, les crus artisans, les crus paysans. C'est une classification d'une finesse assez remarquable que l'on ne retrouve pour aucun autre produit issu du sol (RIBEREAU-GAYON et PEYNAUD, 1960).

2. FORMATIONS GEOLOGIQUES.

La roche-mère ayant donné naissance aux sols des grands crus médocains est constituée par une nappe d'alluvions gravelo-sableuses quaternaires, d'origine fluviatile, reposant sur un soubassement d'argiles et de calcaires tertiaires. Ces terrains tertiaires affleurent localement et leur nature varie suivant les régions. Dans la région de Blanquefort et de Ludon nous trouvons le calcaire à Astéries (Stampien). Dans la régions de Margaux, il s'agit du calcaire lacustre de Plassac (Lédien) qui affleure sur une partie de la commune de Margaux où son faciès présente une influence marine. Dans les régions de Saint-Julien, Pauillac, Saint-Estèphe et même plus au nord, dans une partie du Bas-Médoc, on trouve des calcaires du Ludien représentés le plus souvent par la formation dite "calcaire de Saint-Estephe" (FABRE, 1939).

Par suite de différents accidents tectoniques (dômes anticlinaux de Listrac, Vertheuil et Couquèques) et des phénomènes de creusement qui se sont produits lors de la formation de la vallée, le soubassement tertiaire ne se trouve pas partout au même niveau. L'épaisseur de sables graveleux qui le recouvre varie dans de larges proprotions, de quelques centimètres à une dizaine de mètres. Au sein de la nappe gravelo-sableuse, on observe de nombreuses hétérogénéités verticales et horizontales s'expliquant par des conditions de sédimentation différentes suivant la vitesse du courant. On peut voir alterner des couches contenant des graves grossières qui se sont déposées lorsque le cours du fleuve était rapide avec des sédiments plus fins (sables grossiers et fins, limons, argiles) qui se sont déposés lorsque la vitesse du courant était plus faible.

3. CLIMAT.

Le climat de la Gironde est soumis à l'influence de l'Océan Atlantique et présente les caractères suivants : température relativement douce, humidité de l'air assez élevée et assez constante surtout en automne et en hiver, pluviosité variable, surtout hivernale, et inégalement répartie dans le département.

Pour résumer les caractères du climat bordelais, nous reproduisons un tableau des valeurs (moyennes sur 30 ans) des principaux éléments climatologiques (Tableau I).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne ou total annuel
T.m. Max.	8,8	10,5	14,2	17,3	20,3	23,7	25,4	25,3	24,1	19,1	13,7	9,7	17,7
T.m. Min.	1,7	1,9	4,8	6,1	9,1	12,3	13,7	13,8	11,8	8,1	4,7	2,1	7,3
T. Moy.	5,4	6,2	9,5	11,7	14,7	18,0	19,5	19,6	17,5	13,1	8,7	5,9	12,5
Jours de forte chaleur (T >30°C)				0,1	1	3	6	5	1	0,1			16,2
Précipitations (mm)	90	75	63	48	61	65	56	70	84	83	96	109	900
Jours de pluie (>0,1 mm)	16	13	13	13	14	11	11	12	13	14	15	17	162
Insolation (heures)	69	91	97	93	1	1	1	1	1	86	89	90	81
Evaporation (mm)	89	101	170	165	1	1	1	1	1	148	84	64	2098

T.m. Max. = Moyenne des températures maximales en °C

T.m. Min. = Moyenne des températures minimales en °C

T. Moy. = Températures moyennes

IV. ETUDES DE PROFILS DE SOLS MEDOCAINS

1. REGION DE MARGAUX .

A l'exception d'une partie de la commune de Margaux, les grands crus sont établis sur la terrasse a^{1b} de la carte géologique. Cette terrasse correspond à une partie de la nappe alluviale interne de FABRE. Son altitude moyenne est d'environ 20 mètres. Ces alluvions gravelo-sableuses quaternaires reposant sur le calcaire de Plassac (Lédien) ont une épaisseur de 4 à 8 mètres (FABRE, I939).

L'examen de différentes carrières (SEGUIN, I965) et l'étude d'échantillons prélevés au cours de forages montre, au point de vue de la texture, que l'ensemble de la croupe est assez homogène aussi bien dans le sens horizontal que dans le sens vertical.

Un grand cru classé de la commune de Cantenac a été étudié. Deux forages ont montré que l'épaisseur de la nappe alluviale est de 11 mètres (pour une altitude de 18 mètres) et de 7,9 mètres (pour une altitude de 15 mètres). Les terrains s'inclient en pente douce suivant une direction sud-sud-ouest vers le cours d'une petite jalle. Les sols sont pauvres et lessivés avec par endroit, notamment au nord-est de la propriété, des concrétionnements ferriques en profondeur. Ceux qui sont établis sur le sommet ou le versant de la croupe et qui représentent l'essentiel des sols de la propriété sont très graveleux. Les sols situés dans le bas de la croupe, en bordure de la jalle, ont une texture sableuse mais avec peu de cailloux (apports de sables par ruissellement et par la jalle).

Sept profils ont été étudiés, les uns en creusant une tranchée entre deux rangs de vigne, les autres en prélevant à la tarière des échantillons de sol sur toute la hauteur exploitée par les racines.

A. Profil n° 1 -

Ce profil est situé à proximité d'une petite jalle, à une altitude de 13 mètres, c'est-à-dire, dans la partie la plus basse de la croupe. Les ceps que l'on rencontre sont rares (beaucoup ne se sont pas développés) et rachitiques.

Description

O - 55 cm. Couche sableuse de couleur très claire, pauvre en matière organique. Structure particulaire meuble. Quelques grosses racines de direction verticale qui ne se ramifient pas. Cette zone est saturée d'eau pendant la plus grande partie de l'année (nappe perchée).

55 - 95 cm. Sable argileux gris-foncé avec des traînées de couleur ocre-rouille. Structure particulaire massive. Cet horizon peu perméable constitue le plancher de la nappe perchée que l'on observe dans les couches superficielles du sol. Vers -70 cm, on rencontre des inclusions de marnes (sans doute apportées) mal mélangées aux sables ; elles ont de 1 à 5 cm de diamètre et leur couleur varie de l'ocre au bleu en passant par le jaune et le vert.

95 - 105 cm. Sable argileux de couleur gris-bleuâtre sans structure nette. Quelques inclusions de marnes aux couleurs vives (bleu clair, bleu de prusse, jaune, ocre, etc.)

105 - 130 cm. Couche sableuse avec alternance de couleurs gris-bleu et rouille.

La racines, rares et peu ramifiées en surface, sont assez abondantes à partir de -70 cm. Elles se ramifient surtout autour des blocs de marnes.

Résultats analytiques : tableau II (profil n° 1)

Commentaires

Il s'agit d'un sol peu graveleux mais riche en sables fins et grossiers. Sa partie superficielle est pauvre en argile, en matière organique et en éléments assimilables. La capacité totale d'échange est extrêmement faible mais le complexe absorbant n'est même pas saturé par les cations échangeables, d'où une réaction acide dans les 20 premiers centimètres.

La partie profonde de ce sol présente des caractères tout à fait différents. Sa texture est beaucoup plus fine (30 % de particules inférieures à 20 μ). Comme on n'observe pas de structure organisée, on comprend que sa perméabilité soit réduite et favorise l'établissement d'une nappe d'eau libre dans les couches superficielles du sol.

Profondeurs en cm		0 - 20	20 - 40	70 - 80	95 - 105	105 - 130
Terre fine	%	94	94	92	95	88
Sable grossier	%	81,2	77,2	50,1	49,8	75,6
Sable fin	%	10,2	10,6	16,8	13,7	7,5
Limon grossier	%	1,5	3,0	3,5	5,0	2,0
Limon fin	%	2,5	2,0	10,5	12,5	2,0
Argile	%	4,0	6,5	17,5	17,0	12,0
Humidité actuelle	%	0,1	0,1	0,9	0,9	0,5
Matière organique	%	0,5	0,5	0,7	1,1	0,5
Humidité équivalente	%	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	15,0
Carbone	%	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,25
Azote	%	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,035
C/N		11,1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	7,1
Complexe absorbant — K méq. p. 100 g.		0,11	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Complexe absorbant — Mg méq. p. 100 g.		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,60
Complexe absorbant — Ca méq. p. 100 g.		1,00	[illegible]	+	+	+
Complexe absorbant — S méq. p. 100 g.		[illegible]	[illegible]	+	+	+
Complexe absorbant — T méq. p. 100 g.		1,65	[illegible]	[illegible]	[illegible]	4,40
Complexe absorbant — V % à pH 7		[illegible]	[illegible]	Sat.	Sat.	Sat.
CO_3Ca total	%	0	0	[illegible]	[illegible]	[illegible]
CO_3Ca actif	%	0	0	[illegible]	[illegible]	[illegible]
pH (dans l'eau)		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
P_2O_5	%	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Fer libre	%	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

TABLEAU II - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 1

S = somme des cations échangeables, T = capacité totale d'échange,
V = taux de saturation du complexe absorbant.
Le signe + indique un large excès de calcium. Le complexe absorbant est alors saturé (Sat.)

Contrairement au cas normal, les taux de carbone et d'azote sont nettement plus élevés qu'en surface. Il en est de même des capacités totales d'échange (davantage d'argile et de matière organique) et des teneurs en cations échangeables. Grâce aux apports de marnes, on y trouve même du calcaire actif : lespH sont voisins de 8.

L'extrême pauvreté des couches superficielles peut s'expliquer par le fait qu'elles sont saturées d'eau pendant la plus grande partie de l'année (ce problème sera abordé dans le paragraphe 4. B). D'autre part, ce profil est situé dans une ancienne parcelle d'un château voisin qui, en raison de son éloignement, avait négligé l'entretien de ces quelques rangs de vigne.

L'étude de ce profil montre que, malgré l'extrême pauvreté et la saturation en eau des couches superficielles, la vigne réussit à survivre en développant ses racines dans les couches profondes du sol plus riches et plus saines.

B - Profils n° 2 et 3 -

Ces deux profils sont également situé dans la partie la plus basse de la croupe (altitude = 13 m), près du profil n° 1, à 30 mètres environ de la petite jalle. Contrairement à ce que l'on observe dans la parcelle du sol n° 1, la vigne est ici très vigoureuse.

Description du profil n° 2 -

Ce sol porte une vigne âgée de 2 ans (en 1963).

0 à 45 cm. Couche à texture grossière (peu de cailloux mais beaucoup d'éléments sableux) avec des taux d'argile un peu plus élevés et une couleur plus foncée que la couche équivalente du profil n°1. Structure particulaire plus ou moins compacte suivant l'état d'humidité. On y rencontre quelques inclusions marneuses. Les racines ont une direction horizontale et sont particulièrement abondantes de -25 à -45 cm. Transition diffuse avec la couche suivante.

45 - 70 cm. Couche à texture grossière mais plus compacte que les horizons superficiels. Localement, taches de couleur rouille. Pas de racines.

70 - 100 cm. Horizon sableux de couleur très claire contenant quelques gros galets. Localement, taches de couleur rouille . Pas de racines.

100 - 110 cm. Sable argileux de couleur gris-bleu uniforme. Pas de racines. Un plan d'eau en relation avec le ruisseau voisin se trouve à ce niveau (au début de l'été) et explique la couleur de cet horizon.

Profondeurs en cm	0 - 30	45 - 45	45 - 70	70 - 100	100 - 110
Terre fine %	98	99	95	96	98
Sable grossier %	64,6	64,7	66,7	72,8	67,4
Sable fin %	11,2	12,0	11,9	9,2	12,2
Limon grossier %	5,0	3,0	4,0	3,0	1,5
Limon fin %	4,0	4,3	3,5	4,0	5,4
Argile %	15,0	13,0	13,5	11,0	13,5
Humidité actuelle %	0,4	0,3	0,3	0,1	0,2
Matière organique %	1,0	1,1	0,5	0,1	0,2
Humidité équivalente %	15,4	16,4	13,0	11,7	17,2
Carbone %	0,58	0,70	0,36	0,05	0,14
Azote %	0,052	0,07	0,032		
C/N	11,1	9,7	9,0		
Complexe absorbant — K méq. p. 100 g.	0,21	0,20	0,14	0,08	0,12
Complexe absorbant — Na méq. p. 100 g.	0,41	0,44	0,45	0,45	0,40
Complexe absorbant — Mg méq. p. 100 g.	0,80	0,87	0,85	0,75	0,87
Complexe absorbant — Ca méq. p. 100 g.	4	4	4	4	4
Complexe absorbant — T méq. p. 100 g.	4,10	4,40	4,20	3,90	4,10
Complexe absorbant — V à pH 7	100	100	100	100	100
CO_3Ca total %	0,3	0,1	tr.	tr.	tr.
CO_3Ca actif %	1,00	0,70	tr.	tr.	tr.
pH (dans l'eau)	6,8	6,8	7,10	7,15	7,10
P_2O_5 %	0,12	0,10	0,04	0,03	0,04
Fer libre %	0,53	0,50	0,47	0,43	0,40

TABLEAU III - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N°

deurs en cm	-	20-40	40-60	60-80	80-100	100-1		
rossier								
té actuelle								
e organique								
é équivalent								
éq. p. 100 g.								
méq. p. 100 g.								
méq. p. 100 g.								
méq. p. 100 g.								
p. p. m.								
méq. p. 100 g.								
méq. p. 100 g.								
à pF 7								

TABLEAU IV - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 3

Description du profil n° 3 .

Ce profil a été étudié par prélèvements à la tarière en 1967, soit 4 ans après le profil n°2. Des racines ont été identifiées jusqu'à -80 -100 cm (vigne de 6 ans) alors qu'elles ne dépassaient pas -45 cm lorsque la vigne était âgée de 2 ans.

Résultats analytiques : tableaux III et IV (profils n° 2 et 3)

Commentaires

Ces deux sols ont été étudiés à quelques mètres de distance. Leurs caractères analytiques sont assez semblables (à l'exception de la couche -70 -100 cm du profil n°2).

Bien qu'étant situés à une trentaine de mètres du profil n°1, on ne retrouve pas la nappe d'eau libre par suite de l'absence, dans ces deux sols, d'un horizon imperméable en profondeur.

Ce sont des sols peu graveleux, à texture grossière mais avec des taux d'argile voisins de 10 %. Les teneurs en carbone et azote sont insuffisantes. Les capacités totales d'échange sont assez faibles. Dans le profil n° 2, le complexe absorbant est saturé : la réaction du sol est alcaline. Dans le profil n° 3, les taux de saturation du complexe absorbant sont compris entre 90 et 95 % : la réaction est acide en surface mais les pH sont très proches de 7.

Les cations échangeables ont, dans ces deux sols, une répartition convenable (pas d'antagonismes) mais les teneurs en chaque élément sont faibles. Ces deux sols sont riches en acide phosphorique assimilable (apports d'engrais).

C - Profils n° 4 et 5 -

Ces profils ont été étudiés dans la partie moyenne de la croupe. Les échantillons analysés ont été prélevés à l'aide d'une tarière de 200 mm. Les forages ont été poursuivis jusqu'au soubassement tertiaire.

Le sol n°4 est à une altitude de 15 mètres. Le soubassement tertiaire est à une profondeur de 7,9 mètres. Des racines ont été observées jusqu'à - 270 cm.

Profondeurs en cm		0-30	30-50	50-70	70-90	90-110	110-130	130-150	150-170	170-190	190-210	210-230	230-250	250-270
Terre fine	%	55	59	40	45	59	63	59	61	62	57	49	47	34
Sable grossier	%	79,0	79,0	86,1	85,3	91,1	87,8	92,2	90,1	87,8	78,8	70,7	69,2	80,3
Sable fin	%	8,5	7,6	3,8	4,4	2,3	4,1	1,8	2,5	2,4	4,5	7,5	8,5	5,2
Limon grossier	%	3,3	3,4	2,2	1,9	1,7	2,3	1,2	1,6	2,0	2,3	3,2	1,1	1,9
Limon fin	%	4,9	3,9	3,1	4,0	2,3	3,4	2,4	2,6	3,3	5,6	6,0	6,2	3,7
Argile	%	3,1	5,1	4,2	3,8	2,2	2,1	2,2	2,6	4,3	8,4	12,1	14,2	8,4
Humidité actuelle	%	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,8	0,5
Matière organique	%	0,9	0,7	0,3	0,4	0,2	0,2	0,1						
Carbone	%	0,52	0,38	0,20	0,23	0,09	0,09	0,08						
Azote	%	0,049	0,038	0,023	0,024	0,014	0,010	0,007						
C/N		10,6	10,0	8,7	9,6	6,4	9,0	11,4						
Complexe absorbant	K méq. p. 100 g.	0,29	0,31	0,24	0,33	0,19	0,24	0,19	0,17	0,33	0,77	0,37	0,38	0,46
	Na méq. p. 100 g.	0,16	0,13	0,13	0,13	0,10	0,13	0,10	0,13	0,12	0,21	0,19	0,18	0,25
	Mg méq. p. 100 g.	0,13	0,07	0,04	0,09	0,09	0,04	0,09	0,07	0,10	0,11	0,15	0,05	0,03
	Ca méq. p. 100 g.	0,62	0,41	0,31	0,58	0,43	0,69	0,49	0,48	0,62	1,05	1,15	1,12	1,05
	Cu p. p. m.	93	65	30	30	7								
	S méq. p. 100 g.	1,20	0,92	0,72	1,13	0,81	1,10	0,87	0,85	1,17	2,14	1,86	1,73	1,79
	T méq. p. 100 g.	3,10	2,75	1,80	2,25	1,20	1,40	1,15	1,20	1,35	2,40	4,45	4,25	3,00
	V à pH 7	38,7	33,4	40,0	50,2	67,5	78,5	75,6	70,8	86,6	89,1	41,7	40,7	59,6
pH dans l'eau		4,95	4,90	5,00	5,20	5,55	5,55	5,60	5,45	5,20	5,10	4,75	4,70	4,80
pH dans KCl N		4,10	4,10	4,20	4,35	4,55	4,60	4,60	4,35	4,30	4,35	4,05	3,95	4,10
Fer libre	%	0,15	0,13	0,12	0,11	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07	0,09	0,10
P_2O_5	%	0,032	0,039	0,034	0,031	0,015	0,011	0,006	0,006	0,006	0,010	0,006	0,005	0,005

TABLEAU V - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 4

Le sol n°5 est à une altitude de 18 mètres. Le soubassement tertiaire est à une profondeur de 11 mètres. Des racines ont été identifiées avec certitude jusqu'à une profondeur d'au moins 400 cm.

Résultats analytiques : tableaux V et VI (profils n° 4 et 5).

Commentaires

Ces deux sols sont relativement homogènes sur toute leur hauteur. Ils sont caractérisés par leur enracinement profond (qui n'est limité que par le niveau de la nappe phréatique) et par leur texture grossière (25 à 65 % de cailloux). La terre fine a une texture sableuse (essentiellement des sables grossiers) avec de très faibles pourcentages d'argile dans les deux premiers mètres du sol n°4 et dans le premier mètre du sol n°5.

Les teneurs en carbone et azote sont faibles même dans les couches superficielles. Les rapports C/N sont bas (10 à 12).

Les capacités totales d'échange sont extrêmement faibles. Le complexe absorbant n'est cependant pas saturé par les cations échangeables, d'où des réactions nettement acides (pH voisins de 5).

Les teneurs en acide phosphorique sont satisfaisantes dans le premier mètre du sol, plus faibles et même insignifiantes en profondeur.

Profondeurs en cm		0-30	30-50	50-70	70-90	90-110	110-130	130-150	150-170	170-190	190-210	210-230
Terre fine	%	54	35	33	46	54	51	60	59	74	60	55
Sable grossier	%	69,3	82,7	90,5	91,1	83,7	79,6	83,0	79,4	85,9	81,0	79,2
Sable fin	%	10,2	4,3	2,3	2,5	3,2	3,5	2,3	3,1	1,8	2,9	3,7
Limon grossier	%	6,5	4,4	3,1	3,0	3,2	2,5	2,0	2,9	1,7	2,5	3,2
Limon fin	%	7,0	3,5	2,0	1,5	3,5	2,5	1,5	0,5	1,5	2,0	2,5
Argile	%	5,0	4,0	1,5	1,5	5,5	11,0	10,5	13,5	8,5	11,0	11,0
Humidité actuelle	%	0,5	0,4	0,3	0,2	0,6	0,7	0,5	0,6	0,6	0,6	0,4
Matière organique	%	1,5	0,7	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2				
Carbone	%	0,85	0,39	0,20	0,11	0,19	0,14	0,12				
Azote	%	0,070	0,035	0,022	0,014	0,017	0,011	0,011				
C/N		12,1	11,1	9,1	7,8	11,2	12,7	10,9				
Complexe absorbant	K méq. p. 100 g.	0,27	0,14	0,12	0,11	0,27	0,21	0,27	0,14	0,14	0,15	0,15
	Na méq. p. 100 g.	0,15	0,13	0,13	0,15	0,19	0,13	0,18	0,13	0,13	0,16	0,16
	Mg méq. p. 100 g.	0,07	0,04	0,09	0,09	0,05	0,11	0,13	0,07	0,10	0,11	0,11
	Ca méq. p. 100 g.	0,59	0,28	0,21	0,28	1,18	1,02	1,25	0,69	0,49	0,53	0,49
	Cu p. p. m.	206	35									
	S méq. p. 100 g.	1,08	0,59	0,55	0,63	1,69	1,47	1,83	1,03	0,86	0,95	0,91
	T méq. p. 100 g.	4,60	2,70	2,20	1,80	3,45	3,20	4,00	3,00	2,50	2,65	2,85
	V à pH 7	23,4	21,8	25,0	35,0	48,9	45,9	45,7	34,3	34,4	35,8	31,9
pH dans KCl N		3,85	3,95	4,15	4,25	4,30	4,15	4,15	3,95	3,95	3,90	3,85
pH dans l'eau		4,60	4,90	5,00	5,05	5,20	5,05	5,05	4,85	4,75	4,65	4,60
Fer libre	%	0,16	0,16	0,14	0,11	0,10	0,08	0,08	0,03	0,08	0,08	0,08
P_2O_5	%	0,040	0,050	0,034	0,025	0,025	0,019	0,019	0,013	0,014	0,016	0,006

TABLEAU VI - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 5

Profondeurs en cm		230-250	250-270	270-290	290-310	310-330	330-350	350-370	370-390	390-410	410-430	430-450	450-470	470-490	490-510
Terre fine	%	65	53	66	53	63	56	55	68	64	59	57	61	60	70
Sable grossier	%	77,7	86,4	77,8	80,0	83,8	83,8	82,7	87,0	87,5	86,7	87,8	85,8	74,3	82,2
Sable fin	%	4,0	3,1	4,5	3,6	2,7	3,0	3,9	2,4	2,5	3,1	2,9	2,8	7,5	3,4
Limon grossier	%	1,6	1,4	1,6	2,2	1,0	1,6	1,4	0,7	0,6	1,4	0,4	2,6	2,9	1,2
Limon fin	%	1,5	2,0	2,5	3,5	3,5	3,0	3,1	2,5	3,5	2,5	2,5	3,5	4,6	3,8
Argile	%	13,5	10,5	13,0	10,0	8,5	8,0	8,4	7,0	5,5	6,0	6,0	5,0	10,3	8,3
Humidité actuelle	%	0,7	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
Matière organique	%														
Carbone	%														
Azote	%														
C/N															
Complexe absorbant — Ca	méq. p. 100 g.	0,19	0,17	0,24	0,15	0,13	0,21	0,30	0,40	0,46	0,36	0,49	0,46	0,43	0,32
Mg	méq. p. 100 g.	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,13	0,18	0,21	0,22	0,19	0,25	0,21	0,21	0,25
K	méq. p. 100 g.	0,07	0,05	0,11	0,07	0,01	0,04	0,13	0,05	0,03	0,13	0,07	0,13	0,07	0,03
Na	méq. p. 100 g.	0,54	0,43	0,49	0,49	0,43	0,38	0,44	0,59	0,33	0,39	0,53	0,59	0,51	0,32
Cu	p. p. m.														
S	méq. p. 100 g.	0,95	0,81	1,00	0,87	0,72	0,76	1,05	1,25	1,04	1,07	1,34	1,39	1,22	1,05
T	méq. p. 100 g.	3,20	3,40	3,00	3,10	2,60	2,50	2,50	3,20	2,30	1,80	2,15	2,70	2,20	3,80
V	à pH 7	30,4	25,3	33,3	28,0	27,6	30,4	42,0	39,0	45,2	59,4	62,3	51,4	55,4	37,5
pH dans KCl N		3,90	3,90	3,90	3,85	3,80	3,85	3,85	3,75	3,80	3,95	4,00	4,00	4,00	4,05
pH dans Eau		4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,65	4,55	4,55	4,55	4,55	4,60	4,60	4,70
Fer libre	%	0,11	0,17	0,16	0,16	0,11	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,10	0,09	0,09	0,09
Zn	%	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,005

TABLEAU VI (suite) -CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 5

Les teneurs en cations échangeables sont faibles surtout en ce qui concerne le calcium et le magnésium. Ces teneurs sont cependant plus élevées en profondeur qu'en surface (on notera les taux relativement élevés de potassium de -170 à -270 cm dans le sol n° 4 et de -350 à -510 cm dans le sol n° 5).

On peut remarquer que les rapports K/Mg qui devraient être inférieurs à 1 sont, dans tous les cas, supérieurs à l'unité (en moyenne, ils sont voisins de 3). On peut donc prévoir un phénomène d'antagonisme : le potassium limite l'alimentation en magnésium dont les teneurs sont extrêmement faibles (on peut d'ailleurs observer sur les feuilles des signes de carence magnésienne). D'autre part, la forte acidité de ces sols est un facteur défavorable à une bonne nutrition minérale de la vigne.

On notera que le cuivre provenant des traitements anti-cryptogamiques s'accumule dans les horizons superficiels (DELAS et al., 1959). Les teneurs en cuivre échangeable sont assez élevées dans les 30 premiers centimètres (surtout dans le sol n°5) d'où un risque de toxicité en raison de la faible valeur du pH (pH=4,5).

D - Profil n° 6 -

Ce sol est situé sur la pente de la croupe, à une altitude de 17 mètres.

Description

0 - 45 cm - Couche gravelo-sableuse gris-foncé. Structure particulaire meuble. Rares racines sauf de -20 à -30 cm où elles sont très denses dans du fumier de mouton enfoui récemment.

45 - 70 cm - Sable ocre clair. Structure particulaire meuble. Les racines sont rares sauf à -70 cm où l'on observe un étalement des radicelles soulignant la transition avec l'horizon suivant plus argileux.

70 - 90 cm - Horizon gravelo-sablo-argileux de couleur ocre-grisâtre. Structure polyédrique nette. Nombreuses radicelles qui pénètrent entre les éléments structuraux et entourent les polyèdres.

Profondeurs en cm		0 - 20	45 - 60	70 - 90	100 - 120
Terre fine	%	52	45	77	68
Sable grossier	%	75,2	67,4	42,1	59,2
Sable fin	%	8,3	11,5	12,1	11,9
Limon grossier	%	2,5	3,0	6,0	5,0
Limon fin	%	5,5	8,5	17,0	10,5
Argile	%	7,0	8,5	20,5	12,5
Humidité actuelle	%	0,4	0,4	1,4	0,6
Matière organique	%	1,1	0,7	0,9	0,3
Humidité équivalente	%	10,7	12,2	20,9	16,3
Carbone	%	0,62	0,40	0,51	0,17
Azote	%	0,050	0,049	0,070	0,056
C/N		12,4	8,2	7,3	
Complexe absorbant	K méq. p. 100 g.	0,13	0,28	0,39	0,25
	Na méq. p. 100 g.	0,35	0,32	0,30	0,37
	Mg méq. p. 100 g.	0,12	0,07	0,47	0,45
	Ca méq. p. 100 g.	0,50	1,70	6,50	2,60
	S méq. p. 100 g.	1,10	2,37	7,66	3,67
	T méq. p. 100 g.	4,20	4,20	10,40	5,40
	V à pH 7	26,2	56,4	73,6	68,0
pH dans l'eau		4,75	5,40	5,35	5,05
P_2O_5	%	0,035	0,022	0,029	0,033
Fer libre	%	0,16	0,33	0,67	0,21

TABLEAU VII - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 6

90 - 120 cm - Horizon gravelo-sableux, moins argileux que le précédent, de couleur grisâtre avec taches ocres. Structure polyédrique mais moins exprimée que de -70 à -90 cm. Très bon enracinement.

Résultats analytiques : tableau VII (profil n°6)

Commentaires

Contrairement à la plupart des autres sols étudiés, on retrouve ici l'aspect d'un profil pédologique normal avec des horizons superficiels lessivés et un horizon d'accumulation ayant une morphologie et des caractères analytiques assez typiques.

On constate que les racines sont rares dans les couches superficielles (jusqu'à -70 cm) pauvres en éléments assimilables, notamment en magnésium (un antagonisme potassium-magnésium est vraisemblable). Par contre, elles sont très abondantes et bien ramifiées dans les horizons profonds mieux structurés, plus riches et ayant une constitution chimique équilibrée.

E - Profil n° 7 -

Ce sol est situé à une altitude de 20 mètres, près du sommet de la croupe.

Description

0 - 55 cm - Couche gravelo-sableuse, légèrement argileuse. Structure particulaire meuble. Nombreuses racines de toutes dimensions, ayant une direction horizontale ; ces racines s'étalent à la limite supérieure de l'horizon suivant.

55 - 65 cm - Couche gravelo-sableuse de couleur rouille, très aérée. Structure particulaire meuble. Précipitation de fer sous forme ferrique. Les racines sont très rares et de direction verticale.

65 - 100 cm - Niveau gravelo-sableux légèrement argileux. Structure particulaire massive. Alternance de couleurs rouille et gris-bleu. Très nombreuses racines dans les zones gris-bleu.

Résultats analytiques : tableau VIII (profil n°7)

Profondeurs en cm		0 - 20	30 - 40	55 - 65	80 - 100
Terre fine	%	75	67	35	45
Sable grossier	%	61,8	56,9	67,6	75,8
Sable fin	%	10,9	11,8	9,2	3,7
Limon grossier	%	3,5	5,0	4,5	1,0
Limon fin	%	9,0	9,5	6,5	1,5
Argile	%	13,0	15,0	10,5	16,5
Humidité actuelle	%	0,7	0,9	0,6	0,9
Matière organique	%	1,1	0,9	1,1	0,6
Humidité équivalente	%	15,7	17,5	14,2	17,5
Carbone	%	0,65	0,52	0,63	0,36
Azote	%	0,063	0,063	0,070	0,049
C/N		10,3	8,3	9,0	7,3
Complexe absorbant	K méq. p. 100 g.	0,28	0,25	0,25	0,16
	Na méq. p. 100 g.	0,37	0,35	0,32	0,37
	Mg méq. p. 100 g.	0,37	0,45	0,35	0,15
	Ca méq. p. 100 g.	6,25	7,20	5,55	4,80
	S méq. p. 100 g.	7,27	8,25	6,47	5,48
	T méq. p. 100 g.	7,35	8,45	6,50	5,50
	V à pH 7	98,9	97,6	98,8	99,6
pH dans l'eau		6,8	6,8	6,6	6,8
P_2O_5	%	0,033	0,033	0,028	0,006
Fer libre	%	0,47	0,59	0,37	0,15

TABLEAU VIII - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 7

Commentaires

Il s'agit d'un sol à granulométrie grossière (très fortes proportions de cailloux, notamment en profondeur). Les teneurs en argile de la terre fine sont cependant assez élevées (10,5 à 16,5 %).

Les teneurs en carbone, azote et potassium sont faibles, tandis que les taux d'acide phosphorique sont satisfaisants.

Les cations échangeables saturent pratiquement le complexe absorbant et le pH est voisin de 7. Ces cations sont bien répartis ce qui laisse prévoir une bonne alimentation minérale de la vigne malgré les teneurs relativement faibles en chacun des éléments.

On notera la répartition particulière des racines suivant l'état d'oxydation du fer ; elles sont nombreuses et très ramifiées dans les zones où le fer se trouve à l'état réduit ; par contre, elles sont rares et non ramifiées dans les zones où le fer est à l'état ferrique concrétionné (ce phénomène peut s'observer dans de nombreux sols du vignoble bordelais).

2. REGION DE PAUILLAC ET SAINT-JULIEN.

Comme dans la région de Margaux, les vignobles des grands crus sont établis sur la nappe alluviale interne de FABRE (terrasse a^{1b} de la carte géologique) dont l'altitude moyenne est de 17 mètres. Ces alluvions gravelo-sableuses reposant sur le calcaire de Saint-Estèphe (Ludien) ont une épaisseur moyenne de 8 mètres (FABRE, 1939).

Deux grands crus classés, situés de part et d'autre de la route Bordeaux-Pauillac, ont été étudiés. Vers l'ouest, les vignes sont cultivées sur un plateau (pente inférieure à 1 ‰) tandis que vers l'est, elles sont cultivées sur une portion de terrain en pente (pente d'environ 3 %) s'étendant de la route à la limite des palus qui bordent la Gironde.

Deux forages réalisés sur le plateau ont montré que l'épaisseur de la nappe alluviale est de 7,5 mètres (pour une altitude d'environ 17 mètres) et de 5,3 mètres (pour une altitude d'environ 16 mètres).

A.- Profil n° 8 -

Ce profil est situé dans la partie la plus basse de la croupe (altitude = 4 mètres). Comme à Cantenac, les sols de ce bas de croupe sont peu graveleux mais possèdent une texture sableuse (accumulation de sables entraînés par ruissellement).

Description

0 - 60 cm - Couche sableuse gris foncé. Quelques cailloux. Structure particulaire meuble. Racines horizontales se ramifiant entre -20 et - 55 cm.

A -60cm (limite des défonçages), on trouve quelques blocs calcaires (sans doute apportés) et des traces de matière organique.

60 - 90 cm - Horizon argileux de couleur rouille. Structure particulaire massive. Racines rares et de faibles dimensions ayant une direction verticale.

90 - 120 cm - Sable gris bleuté avec quelques rares taches de couleur ocre. Cet horizon est encore engorgé au printemps. Nombreuses racines fines et moyennes dont la direction dominante est horizontale.

Résultats analytiques : tableau IX (profil n°3)

Commentaires

Ce sol a une texture sableuse avec quelques gros cailloux (5 à 6 cm) mais rares et dispersés sur toute la hauteur du profil. A l'exception du faible pourcentage de cailloux, c'est un sol typique du vignoble médocain : faibles teneurs en carbone et en azote avec des rapports C/N bas, faible valeur des capacités totales d'échange qui, ici, sont pratiquement saturées (pH compris entre 6 et 7), faibles teneurs en cations échangeables mais avec une répartition satisfaisante. Les taux d'acide phosphorique sont convenables de 0 à -60 cm.

On notera que, malgré des propriétés physiques défavorables, les racines sont abondantes de -90 à -120 cm dans les sables de couleur gris-bleu.

Profondeurs en cm		0 - 25	40 - 50	60 - 90	90 - 120
Terre fine	%	92	82	93	96
Sable grossier	%	70,0	68,4	57,5	67,8
Sable fin	%	9,7	12,9	10,3	9,9
Limon grossier	%	2,0	1,5	5,2	0,0
Limon fin	%	7,5	7,0	11,7	13,5
Argile	%	9,5	9,0	13,8	7,5
Humidité actuelle	%	0,5	0,5	0,9	0,5
Matière organique	%	0,8	1,0	0,6	0,8
Humidité équivalente	%	10,6	9,4	12,5	10,7
Carbone	%	0,48	0,58	0,38	0,49
Azote	%	0,046	0,055	0,050	0,040
C/N		10,4	10,5	7,6	12,2
Complexe absorbant	K méq. p. 100 g.	0,15	0,12	0,15	0,07
	Na méq. p. 100 g.	0,13	0,15	0,18	0,20
	Mg méq. p. 100 g.	1,15	0,57	1,25	1,10
	Ca méq. p. 100 g.	2,67	3,27	5,70	3,42
	S méq. p. 100 g.	4,10	4,11	7,28	4,79
	T méq. p. 100 g.	5,20	5,40	7,65	4,70
	V à pH 7	78,8	76,1	95,2	Sat.
pH dans l'eau		5,90	6,35	6,70	6,70
P_2O_5	%	0,026	0,032	0,017	0,008
Fer libre	%	0,44	0,36	0,54	0,35

TABLEAU IX - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 8

B - Profil n° 9 -

En bordure de la route Bordeaux-Pauillac (altitude = 17 mètres), nous avons pu examiner les fondations d'un château d'eau creusées en plein vignoble. Il s'agissait d'un trou circulaire ayant une quinzaine de mètres de diamètre et 2,5 mètres de profondeur. Dans la partie centrale, un puits de 2 mètres de profondeur a été creusé.

Description (Fig. 2)

On peut observer deux zones distinctes : dans la partie supérieure du profil (0 -125 cm), un ensemble graveleux ayant une couleur grise plus ou moins foncée ; au-dessous (de -125 à -250 cm) un ensemble sableux av ec seulement quelques veines de graves, où l'absence de matière organique laisse apparaître les couleurs vives des différentes zones (rouille, jaune, bleu). De -250 à -450 cm, le puits central a révélé l'existence de couches profondes très graveleuses.

Couches supérieures (0 -125 cm)

0 -30 cm - Graves sableuses de couleur gris clair. Structure particulaire meuble. Racines de toutes dimensions et de direction généralement horizontale.

A l'intérieur de cette zone, on rencontre une veine de texture argileuse et d'épaisseur variable (5 cm en moyenne mais pouvant atteindre localement 30 cm) apportée autrefois par marnage lors des travaux de défonçage à la main. Dans cette argile de couleur marron sombre et de structure polyédrique anguleuse, on observe un lacis très dense de radicelle s'étalant entre les éléments structuraux.

- 30 -60 cm - Couche sableuse légèrement graveleuse contenant quelques veines argileuses. Autour des grains de sable, on observe un concrétionnement ferrique de couleur rouille formant une mince pellicule ; les grains ne sont pas soudés entre eux et l'ensemble de l'horizon reste meuble et très aéré. La limite supérieure se trouve immédiatement au-dessous de la couche marneuse tandis que sa limite inférieure est située à -60 cm, profondeur moyenne des défonçages actuels.

A -60 cm , on observe des poches sableuses dont la forme et la disposition régulière font penser à la trace laissée par le soc d'une charrue. Dans ces poches, les particules sableuses sont revêtues d'un concrétionnement ferrique.

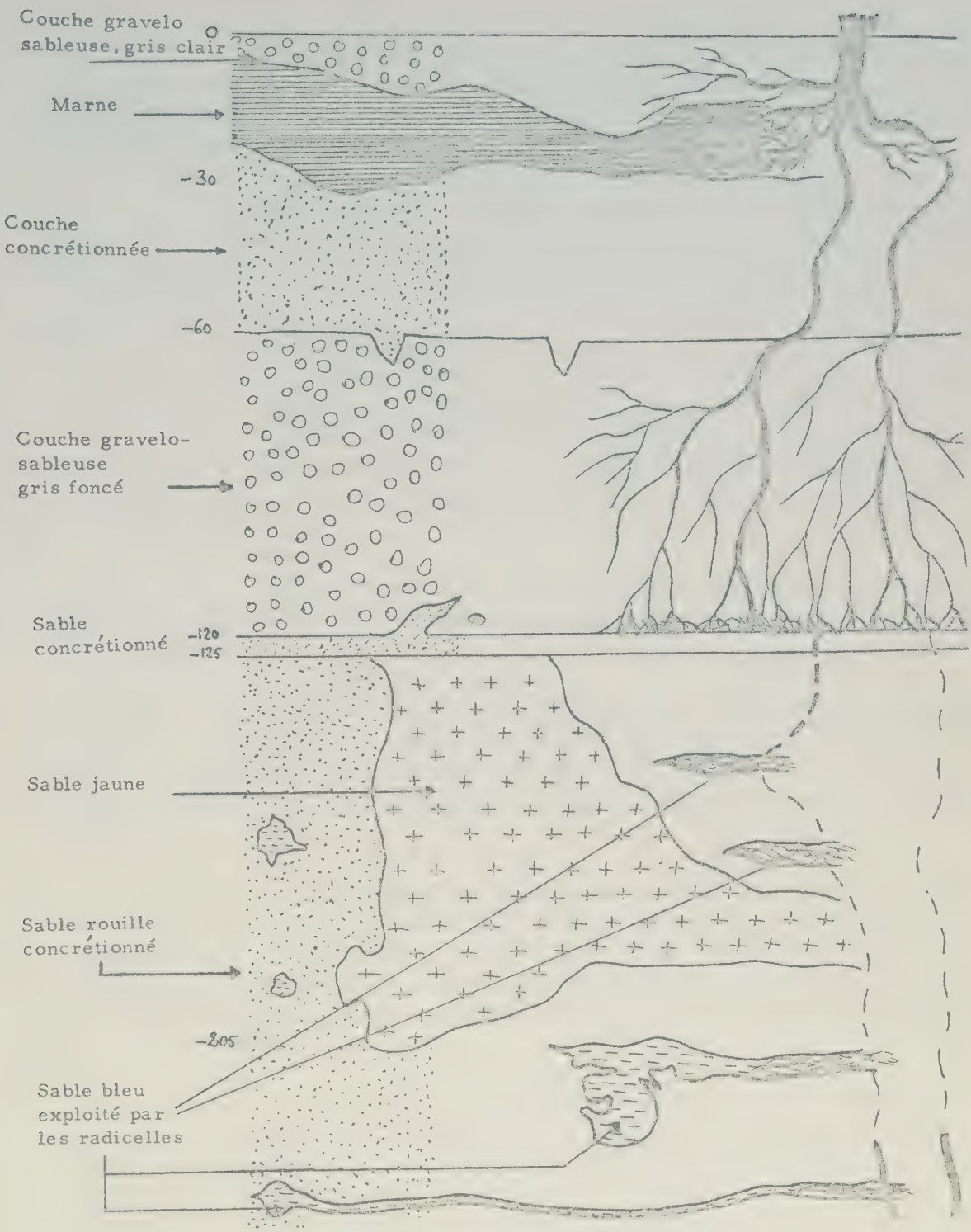

Fig. 2 - COUPE SCHEMATIQUE DU PROFIL n°9

La répartition des racines d'un cep de vigne dans les différentes zones du sol est représentée sur la droite du schéma. Des grosses racines ont été observées à partir de -235 cm mais leur parcours n'a pas été suivi d'une manière continue de -120 à -235 cm.

Alors que les racines sont très abondantes au-dessus et au-dessous, on ne rencontre, dans cette zone à concrétionnement ferrique, que quelques grosses racines, de direction verticale, suivant les veines argileuses qui ont été signalées.

60 - 120 cm - Couche gravelo-sableuse présentant les mêmes caractères que la zone superficielle mais de couleur plus foncée. Nombreuses racines de toutes tailles et de toutes directions particulièrement abondante à la limite inférieure de cette couche où elles s'étalent.

Couches profondes (-125 -245 cm)

Elles sont caractérisées par de faibles teneurs en matière organique qui laissent apparaître les couleurs vives des différentes zones.

Au point de vue granulométrique, ce sont surtout des sables fins et grossiers contenant quelques bancs de graves de profondeur et d'épaisseur variables.

Les sables de couleur rouille vif sont les plus abondants. Ce sont des sables concrétionnés en masse par un ciment ferrique, formant un ensemble dur mais qui peut encore s'effriter sous une forte pression des doigts. Il n'y a jamais de racines dans ces sables concrétionnés.

A l'intérieur de cette masse, on trouve des inclusions rares, mais de volume important, formées de sables jaunes, très meubles, sans aucune cohésion. Il est difficile d'expliquer pourquoi ces inclusions ont échappé à un concrétionnement très généralisé par ailleurs et cela d'autant plus que la transition entre les deux types de sables est extrêmement nette (1 mm).

A l'intérieur des sables de couleur rouille, on observe également des inclusions de sables gris-bleuté se présentant généralement sous forme de bandes horizontales très allongées (Fig. 2). Elles occupent un volume réduit (1/20 à 1/30 de l'ensemble) mais jouent un rôle important puisqu'elles contiennent un chevelu de racines extrêmement abondant et ramifié. Ces zones sont plus humides que le reste du profil. On observe d'ailleurs dans les sables jaunes des traînées horizontales humides reproduisant la forme des zones bleues mais sans qu'il y ait ici de différenciations de couleur si ce n'est celle due à l'humidité.

A -250 cm on trouve encore de grosses racines (1 à 2 cm de diamètre) qui continuent à s'enfoncer vers de plus grandes profondeurs.

Résultats analytiques : tableau X (profil n° 9)

Cet ensemble est assez semblable aux profils 10 et 11 dont on trouvera plus loin les résultats analytiques détaillés.

Dans cette coupe, nous avons analysé des échantillons prélevés dans les sables rouilles et dans les sables gris-bleu. Les échantillons Rouille I et Bleu I ont été prélevés à quelques centimètres l'un de l'autre. La même chose a été faite plus loin pour les échantillons Rouille II et Bleu II.

Commentaires

L'étude de ce "large profil" est particulièrement intéressante à plusieurs points de vue.

Hétérogénéité des couches : Alors que dans la région de Margaux, l'étude des forages et des carrières a révélé des couches profondes relativement homogènes, ce n'est plus le cas ici. Dans un même plan horizontal, on ne trouve pas de continuité et, si l'on faisait des prélèvements à profondeur constante, on trouverait : soit un sable rouille concrétionné, soit un sable jaune sans cohésion, soit un sable gris bleu ou encore une couche graveleuse.

Extension en profondeur des racines de la vigne : Il est possible d'observer ici (comme dans les forages et dans certaines carrières) la grande extension en profondeur du système radiculaire de la vigne. La rencontre d'une couche défavorable (-30 -60cm) semble limiter la pénétration des racines qui s'étalent au-dessus d'elle; mais les grosses racines sont capables de contourner ou de traverser verticalement et sans s'y ramifier des couches possédant des propriétés physiques ou chimiques défavorables.

Répartition des racines suivant l'état d'oxydation du fer: La localisation en profondeur des racines, uniquement dans les zones bleues, et leur absence dans les zones où le fer se présente à l'état ferrique concrétionné pose un problème.

Prélèvements		Bleu I	Rouille I	Bleu II	Rouille II
Terre fine	%	82	100	100	100
Sable grossier	%	37,2	42,4	64,7	63,8
Sable fin	%	23,5	25,3	14,0	12,7
Limon grossier	%	2,0	2,0	1,5	1,5
Limon fin	%	9,0	5,0	7,5	[illegible].0
Argile	%	26,5	24,0	11,0	15,0
Humidité actuelle	%	1,1	1,0	0,3	0,7
Matière organique	%	0,7	0,3	0,3	0,2
Humidité équivalente	%	24,4	18,9	12,0	15,0
Carbone	%	0,40	0,21	0,21	0,14
Azote	%	0,045	0,028	0,025	0,028
C/N		8,9	7,5	8,4	5,0
Complexe absorbant — K	méq. p. 100 g.	0,16	0,14	0,10	0,24
Mg	méq. p. 100 g.	0,55	0,65	0,60	0,65
Ca	méq. p. 100 g.	2,20	2,00	2,08	3,80
S	méq. p. 100 g.	2,91	2,79	2,78	4,69
T	méq. p. 100 g.	7,35	5,60	2,80	4,95
V	à pH 7	39,6	49,8	99,2	94,7
pH dans l'eau		4,50	4,60	6,75	6,70
P_2O_5	%	0,005	0,006	0,006	0,008
Fer libre	%	0,45	1,80	0,20	1,35

TABLEAU X - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 9

Il serait intéressant de savoir pourquoi, dans certaines zones, le fer se trouve à l'état ferreux tandis qu'il est à l'état ferrique quelques millimètres à côté. On pourrait penser qu'à l'origine ces zones étaient plus riches en matière organique (par exemple, à cause d'une ancienne racine qui se serait décomposée). Par suite de l'abondance de nouvelles racines recherchant une zone plus riche, le phénomène s'auto-catalyserait. En fait, il n'en est rien et si l'on compare les teneurs en carbone de Rouille I et de Bleu II on s'aperçoit qu'elles sont identiques. Cette réduction du fer vient vraisemblablement d'une plus forte teneur en eau circulant d'une manière préférentielle suivant un tracé particulier que ne peuvent expliquer ni le taux d'argile, ni la capacité de rétention pour l'eau, lesquels, suivant le cas, sont plus élevés soit dans les sables rouilles soit dans les sables bleus. L'hypothèse de cette circulation préférentielle de l'eau semble confirmée par les observations faites dans les sables jaunes (voir plus haut) et par une plus faible teneur en fer libre dans les zones bleues. Le rapport Fer (Rouille)/Fer (Bleu) est de 4 dans le cas I et voisin de 7 dans le cas II.

Cette recherche des zones où le fer se présente à l'état réduit et leur absence dans celles où il est à l'état ferrique concrétionné se retrouvent sur de nombreux profils. Dans le cas des sables rouilles, la dureté due au concrétionnement constitue un obstacle à la pénétration des racines mais on ne peut plus faire appel à ce facteur pour expliquer l'absence de radicelles dans la couche -30 -60 cm qui reste meuble et aérée.

C - Profil n° 10

Ce profil est situé sur la pente nord-est de la croupe, à proximité du sommet (altitude = 16 mètres). A quelques variantes près, nous y retrouvons les caractères relevés sur le profil n° 9.

Description (Fig. 3)

0 - 70 cm - Sable graveleux de couleur gris foncé à structure particulaire meuble.

De -15 à -25 cm, on retrouve les inclusions argileuses apportées par marnage. Mal mélangée aux éléments grossiers, ces inclusions possèdent une structure polyédrique anguleuse bien exprimée. Un chevelu abondant s'infiltre entre les éléments structuraux et s'étale à leur surface.

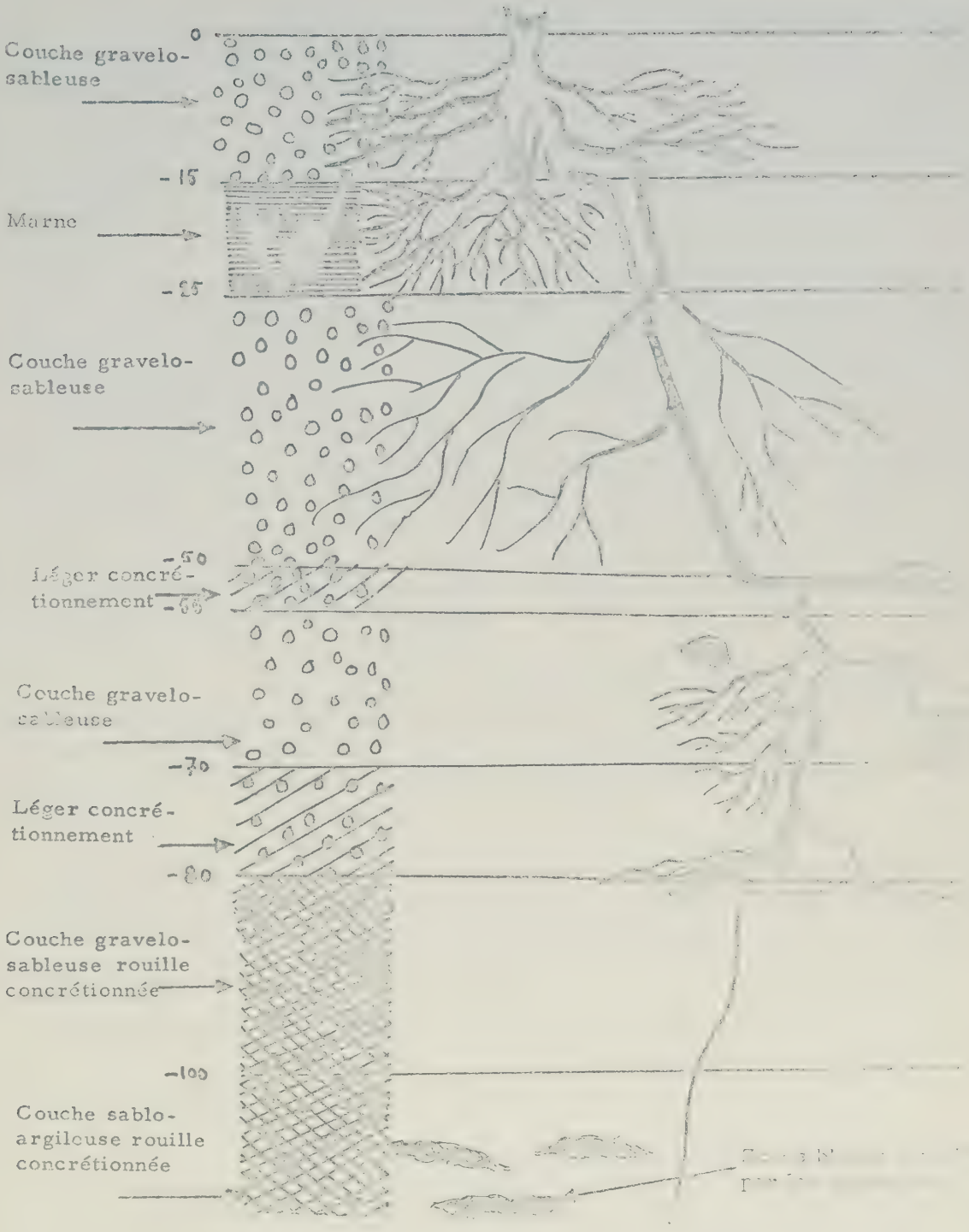

Fig. 3 - COUPE SCHEMATIQUE DU PROFIL N°12

La répartition des racines d'un cep de vigne dans le [illegible] du sol est représentée sur la droite du schéma.

Par endroits, on distingue des inclusions sableuses de couleur rouille sombre, de disposition et de forme variées rappelant celles observées sur le profil n° 9.

On peut également observer à -50 cm et surtout vers -70 -80 cm un début de concrétionnement ferrique de couleur marron rouille.

Les racines de toutes tailles sont abondantes et réparties assez régulièrement de 0 à -80 cm ; elles sont plus nombreuses dans la couche marneuse. Les grosses racines ont une direction horizontale près de la surface mais certaines prenant une direction verticale envoient des ramifications dans les différents niveaux. Dans ce type de sol chimiquement pauvre, on observe une forte densité de radicelles dans tout ce qui peut contenir des éléments assimilables. C'est ainsi qu'à -60 cm,un petit bloc d'argile inclus dans une couche sableuse est étroitement entouré par un lacis très dense de radicelles. A - 80cm, l'extrémité d'un piquet en voie de décomposition est complètement envahie par un chevelu de racines qui pénètre et s'étale entre les fibres du bois après les avoir écartées.

80 -100 cm - Horizon gravelo-sableux de couleur rouille avec début de concrétionnement en masse par un ciment ferrique. Après s'être ramifiées et étalées à la surface de cet horizon, les grosses racines le traversent verticalement mais sans s'y ramifier.

100 - 130 cm - Sable argileux de couleur ocre-rouille, légèrement concrétionné en masse et englobant des formations de même texture mais de couleur gris-bleu. Comme dans le profil n°9, on peut observer un chevelu très abondant dans les zones bleues mais qui contourne les zones rouilles sans y pénétrer.

Résultats analytiques : tableau XI (profil n°10)

Commentaires

Si l'on excepte la zone superficielle où le pourcentage élevé d'argile vient d'un apport extérieur, la texture des 100 premiers centimètres est sablo-graveleuse. Au-dessous, on trouve une couche plus argileuse. L'analyse minéralogique des argiles montre qu'il n'y a aucun rapport entre les argiles superficielles et profondes, les unes ne pouvant pas dériver des autres.

Profondeurs en cm		0 - 30	40 - 60	70 - 80	80 - 100	100 - 130
rre fine	%	74	75	60	50	73
ble grossier	%	43,1	61,8	63,7	68,4	55,5
ble fin	%	8,1	15,8	15,8	11,5	5,2
mon grossier	%	2,5	2,5	5,0	3,5	2,0
mon fin	%	17,0	11,0	8,0	7,0	5,0
gile	%	25,5	7,5	6,0	8,5	29,5
midité actuelle	%	2,0	0,5	0,4	0,7	2,3
tière organique	%	1,7	0,9	1,0	0,2	0,[illegible]
midité équivalente	%	19,2	10,5	9,2	8,5	18,1
rbone	%	0,97	0,51	0,58	0,11	0,29
ote	%	0,085	0,043	0,038	0,022	0,026
/N		11,4	11,9	15,3	—	11,2
K méq. p. 100 g.		0,29	0,17	0,11	0,15	0,22
Na méq. p. 100 g.		0,24	0,23	0,15	0,16	0,27
Mg méq. p. 100 g.		0,95	0,32	0,57	0,67	1,67
Ca méq. p. 100 g.		10,62	4,60	3,25	2,27	4,17
S méq. p. 100 g.		12,10	5,32	4,08	3,25	6,33
T méq. p. 100 g.		12,05	4,85	4,50	3,85	7,80
V à pH 7		Sat.	Sat.	90,7	84,4	81,2
H dans l'eau		7,20	6,65	6,70	6,70	5,60
P_2O_5	%	0,011	0,030	0,032	0,036	0,018
er libre	%	0,85	0,30	0,25	0,29	0,73

TABLEAU XI - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 10

Comme toujours, dans les horizons à texture sableuse, l'humidité équivalente est faible, mais atteint 18 à 19 % dans les zones plus argileuses.

Les teneurs en azote et carbone sont assez faibles , même en surface.

Les capacités totales d'échange sont peu élevées . Même dans les horizons contenant de 25 à 30 % d'argile, elles restent faibles, par suite du taux de matière organique insuffisant et, d'autre part, (niveau -100 -130 cm) des minéraux argileux qui sont mal constitués et plus ou moins altérés. (Au microscope électronique, on peut voir les hexagones de kaolinite mal constituésvoisinant avec les tubes d'halloysite).

Le complexe absorbant est facilement saturé par de faibles quantités de cations échangeables et les pH sont voisins de 7. Ces cations sont bien répartis mais insuffisants . La vigne compense ce défaut en développant son système radiculaire dans la roche-mère et en exploitant toutes les sources de richesse (bloc d'argile - piquet).

Les teneurs en acide phosphorique sont convenables de -40 à -100 cm.

D - Profils n° 11 et 12 .

Le profil n°11 est à une altitude d'environ 16 mètres, en bordure de la route Bordeaux-Pauillac. L'épaisseur de la nappe alluviale est de 5,3 mètres.

Le profil n°12 est à une altitude d'environ 17 mètres, sur le plateau situé à l'ouest de la route Bordeaux-Pauillac. L'épaisseur de la nappe alluviale est de 7,5 mètres.

Résultats analytiques : tableaux XII et XIII (profils n°11 et 12)

Commentaires

Ces deux profils assez semblables correspondent à des forages qui ont été réalisés à l'aide d'une tarière de 200 mm.

Ces sols ont un enracinement assez superficiel (150 à 170 cm) limité par la proximité de la nappe phréatique (voir deuxième partie).

Profondeur en cm.		0-20	20-50	50-70	70-90	90-110	110-130	130-150	150-170	170-190	190-210	210-230
Terre fine	%	54	57	50	45	39	35	31	28	50	52	40
Sable grossier	%	52,6	55,6	55,9	66,4	71,2	66,1	63,1	59,2	36,7	40,2	57,7
Sable fin	%	10,0	10,7	11,4	9,5	10,2	13,8	11,9	11,4	26,8	27,6	14,6
Limon grossier	%	7,2	6,1	7,5	5,9	5,0	4,6	4,1	4,5	5,2	5,6	3,5
Limon fin	%	12,0	11,9	10,1	7,3	7,5	8,5	11,4	11,0	11,0	8,3	7,4
Argile	%	14,6	13,1	13,0	9,5	5,1	6,0	8,3	20,6	18,4	16,6	15,6
Humidité actuelle	%	1,3	1,2	1,1	0,6	0,7	0,7	1,0	2,0	1,6	1,4	1,0
Matière organique	%	2,3	1,4	1,0	0,8	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2
Humidité équivalente	%	18,3	14,0	15,4	10,7	8,5	8,9	10,9	19,9	18,2	20,2	14,7
Carbone	%	1,35	0,84	0,59	0,47	0,19	0,18	0,14	0,20	0,19	0,18	0,12
Azote	%	0,118	0,072	0,057	0,042	0,015	0,015	0,013	0,015	0,020	0,019	0,014
C/N		11,4	11,7	10,4	11,2	12,7	12,0	10,8	13,3	9,5	9,5	8,6
Complexe absorbant	K méq. p. 100 g.	0,35	0,30	0,33	0,29	0,21	0,21	0,20	0,36	0,34	0,29	0,19
	Na méq. p. 100 g.	0,27	0,25	0,23	0,27	0,23	0,24	0,25	0,29	0,27	0,31	0,29
	Mg méq. p. 100 g.	0,52	0,37	0,20	0,20	0,17	0,21	0,24	0,34	0,36	0,40	0,25
	Ca méq. p. 100 g.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3,84	2,56
	Cu p. p. m.	40	17	8	5							
	S méq. p. 100 g.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4,84	3,29
	T méq. p. 100 g.	9,85	8,70	7,25	5,35	3,00	3,60	3,70	5,80	5,00	5,40	3,65
	V à pH 7	Sat.	Sat.	Sat.	Sat.	Sat.	Sat.	Sat.	Sat.	Sat.	89,6	80,1
pH dans KCl N		7,15	7,35	7,35	7,55	7,55	7,55	7,50	6,90	6,75	6,60	6,50
pH dans l'eau		7,35	7,35	7,70	8,00	7,65	7,65	7,70	7,20	7,10	6,90	6,70
Calcaire actif	%	0,4	0,7	0,8	0,9	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1		
P_2O_5	%	0,078	0,084	0,054	0,047	0,019	0,012	0,012	0,010	0,012	0,012	0,011
Fer libre	%	0,20	0,32	0,31	0,26	0,16	0,24	0,35	0,51	0,57	0,64	0,72

TABLEAU XII - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL

rofondeurs en cm	0-30	30-50	50-70	70-90	90-110	110-130	130-150	150-[illegible]
rre fine %	77	76	73	79	81	69	61	51
ble grossier %	61,6	63,8	62,1	66,2	74,9	78,4	83,9	74,[illegible]
ble fin %	9,2	9,3	11,8	11,7	8,3	8,2	4,6	7,5
mon grossier %	6,6	4,8	6,2	5,7	3,3	4,3	4,2	4,4
mon fin %	10,5	9,8	8,8	7,0	5,6	3,3	3,3	4,9
gile %	11,1	10,3	9,6	8,1	7,0	5,1	3,5	7,[illegible]
midité actuelle %	0,8	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,5
tière organique %	2,0	1,2	0,9	0,7	0,4	0,3	0,2	0,1
rbone %	1,16	0,67	0,51	0,38	0,25	0,15	0,12	0,16
ote %	0,091	0,066	0,049	0,035	0,025	0,016	0,011	0,012
N	12,7	10,2	10,4	10,9	10,0	9,4	10,9	13,3
K méq. p. 100 g.	0,30	0,20	0,13	0,12	0,20	0,07	0,05	0,05
Na méq. p. 100 g.	0,15	0,17	0,17	0,23	0,27	0,17	0,23	0,19
Mg méq. p. 100 g.	0,38	0,35	0,31	0,27	0,23	0,23	0,13	0,22
Ca méq. p. 100 g.	6,04	6,22	4,27	3,35	2,32	1,34	1,10	1,59
Cu p. p. m.	55	21	10	4				
S méq. p. 100 g.	6,87	6,94	4,88	3,97	3,02	1,81	1,51	2,05
T méq. p. 100g.	7,45	6,75	5,35	4,30	3,35	1,90	1,60	2,40
V à pH 7	92,2		91,2	92,3	90,1	95,2	94,3	85,4
H dans KCl N	6,05	6,35	6,40	6,15	6,10	6,15	6,15	6,05
H dans l'eau	6,40	6,75	6,65	6,95	6,75	6,85	7,00	6,65
er libre %	0,30	0,28	0,22	0,21	0,22	0,28	0,14	0,16
P_2O_5 %	0,067	0,070	0,041	0,046	0,024	0,015	0,009	0,010

TABLEAU XIII - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 12

Le sol n° 11 est très graveleux, tandis que les proportions et la taille des cailloux diminuent vers l'ouest à mesure que l'on s'éloigne du cours de la Gironde (sol n°12). La texture de la terre fine est sableuse mais avec des taux d'argile légèrement supérieurs à 10 % dans le premier mètre de sol (la texture est plus fine que dans les sols n° 4 et 5 de Cantenac). Les teneurs en carbone et en azote sont assez fortes pour des sols de vignobles et restent satisfaisantes jusqu'à 1 mètre de profondeur. Les capacités totales d'échange ne sont pas très élevées. Le complexe absorbant est saturé (profil n°11) ou presque (profil n°12) d'où des pH voisins de 7. Les teneurs en cations échangeables sont assez faibles. Si leur répartition est convenable dans le profil n° 12, on peut craindre un antagonisme potassium-magnésium dans le profil n° 11.

Les taux d'acide phosphorique sont très élevés (apports de fumures) dans le premièr mètre de sol mais très nettement plus faibles dans la roche-mère. Le cuivre échangeable reste localisé dans les horizons superficiels où sa teneur est trop faible et les pH suffisamment élevés pour que l'on puisse craindre un phénomène de toxicité.

3. REGION DE SAINT-ESTEPHE -

Ici encore, les vignobles des grands crus sont établis sur la nappe alluviale interne de FABRE (terrasse a ^{1b} de la carte géologique) dont l'altitude moyenne est de 15 mètres. Ces alluvions gravelo-sableuses reposant sur les calcaires de Saint-Yzans et de Saint-Estèphe (Ludien) ont une épaisseur de 4 à 7 mètres (FABRE, 1939).

Plusieurs profils ont été étudiés sur le domaine d'un château situé à proximité de la Gironde.

A - Profil n° 13 .

Ce profil a été étudié en topographie plane (altitude = 11 mètres) dans une parcelle plantée en vigne depuis 10 ans. Le sol est graveleux avec, en profondeur, un horizon aliotisé qui limite la profondeur des défonçages.

Description

0 - 35 cm - Couche sablo-graveleuse humifère de couleur gris foncé. Structure particulaire meuble. Mauvaise incorporation de la matière organique.

Les racines, abondantes à partir de -20 cm, sont extrêmement denses de -25 à -35 cm. Elles semblent arrêtées par l'alios sous-jacent et s'étalent à sa surface. Elles sont de toutes dimensions et leur direction générale est horizontale.

35 - 60 cm - Horizon aliotisé de couleur marron foncé. La partie supérieure est très compacte mais peut encore se briser dans la main. Dans la partie inférieure, le concrétionnement de couleur noire (fer et manganèse), entoure les particules sableuses d'une mince pellicule mais sans les souder.

Les racines traversent cet horizon sans s'y ramifier.

60 - 100 cm - Graves sablo-argileuses présentant à la fois un fort pourcentage d'éléments grossiers et très fins. Alternance de couleurs rouille, gris-bleu et blanc en bandes plus ou moins horizontales. L'aspect d'ensemble de cet horizon donne une impression de compacité mais on peut observer un début de structure sous forme de petits polyèdres assez bien individualisés, pauvres en matière organique et sans grande stabilité.

Cet horizon est très humide en décembre et, à partir de -70 cm, on peut observer un léger suintement à travers la tranche de la coupe bien qu'il n'ait pas plu depuis plusieurs jours. Cette stagnation de l'eau produit des phénomènes d'hydromorphie que révèlent les couleurs rouille et gris-bleu.

Les radicelles (concentrées autour des cailloux) sont peu abondantes dans les zones blanches et gris-bleu mais totalement absentes dans les bandes de couleur rouille.

Résultats analytiques : tableau XIV (profil n°13)

Commentaires

Il s'agit d'un sol gravelo-sableux dont les 60 premiers centimètres sont assez pauvres en éléments fins. Au-dessous, on trouve à la fois de fortes proportions d'éléments grossiers et très fins qui expliquent la compacité de l'horizon et ses caractères hydromorphes.

Les teneurs en carbone sont assez élevées pour un sol de vignoble.

Profondeurs en cm		0-15	30-35	35-60	60-80
Terre fine	%	69	42	53	34
Sable grossier	%	70,6	70,2	70,5	68,8
Sable fin	%	6,1	6,8	7,5	2,5
Limon grossier	%	3,5	4,0	2,0	3,0
Limon fin	%	8,0	8,0	7,0	1,5
Argile	%	9,0	8,0	8,5	22,5
Humidité actuelle	%	0,8	0,7	1,4	1,2
Matière organique	%	2,0	2,3	3,1	0,5
Humidité équivalente	%	15,6	13,7	12,9	15,2
Carbone	%	1,17	1,35	1,81	0,28
Azote	%	0,106	0,087	0,073	0,020
C/N		11,0	15,5	24,8	14,0
Complexe absorbant — K	méq. p. 100 g.	0,26	0,11	0,13	0,21
Mg	méq. p. 100 g.	0,62	0,20	1,00	0,40
Ca	méq. p. 100 g.	10,70	+	9,55	3,00
S	méq. p. 100 g.	+	+	+	3,61
T	méq. p. 100 g.	8,80	8,70	9,70	6,60
V	à pH 7	Sat.	Sat.		54,7
CO_3Ca total	%	0	0,3	0,5	0
CO_3Ca actif	%	0	0,1	0	0
pH dans l'eau		7,20	7,75	6,45	4,70
P_2O_5	%	0,025	0,020	0,013	0,002
Fer libre	%	0,37	0,31	1,38	1,05

TABLEAU XIV - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 13

Le complexe absorbant possède une faible capacité d'échange (même en profondeur malgré une teneur élevée en argile). [illegible] réaction alcaline dans les couches superficielles [illegible] utilisé (-35 -60 cm), une partie du calcaire (inactif) [illegible] ce qui donne une valeur de V supérieure à 100 pour un pH de 8,45.

L'alios est riche en matière organique et possède un rapport C/[illegible] [illegible] (1,38 % de fer libre ; 1,75 % de fer S.A.) sont assez faibles. La couleur noire de la partie inférieure est due au manganèse (1,43 % de manganèse S.A.). C'est un des rares cas où, dans un sol de vignoble, nous avons rencontré un concrétionnement dont la constitution chimique est proche de celle des alios classiques.

La répartition des cations est satisfaisante mais les teneurs en potassium sont trop faibles.

Une fois de plus, on observe une répartition particulière des racines suivant l'état d'oxydation du fer. On notera que les racines ne sont pas arrêtées par l'alios puisqu'on les retrouve dans l'horizon sous-jacent.

II - [illegible]

Ce profil a été étudié sur une parcelle de faible pente (1 %) à une [illegible] plantée de 20 ans.

Description (Fig. 4)

0 - 35 cm.- Zone graveleuse, légèrement argileuse de couleur gris foncé.

Les racines de toutes dimensions sont très abondantes de -15 à -35 cm, surtout dans l'interligne où du fumier a été enfoui récemment.

35 - 60 cm - Zone gravelo-sableuse de couleur claire. Structure particulaire meuble. Les grosses racines traversent cette zone verticalement sans s'y ramifier.

60 - 110 cm - Zone gravelo-sableuse de couleur ocre. Structure particulaire meuble, légèrement compacte à -70 cm. Peu de racines : on a observé seulement deux grosses racines de direction verticale et non ramifiées; elles rampent horizontalement à -70 cm puis s'enfoncent à nouveau verticalement.

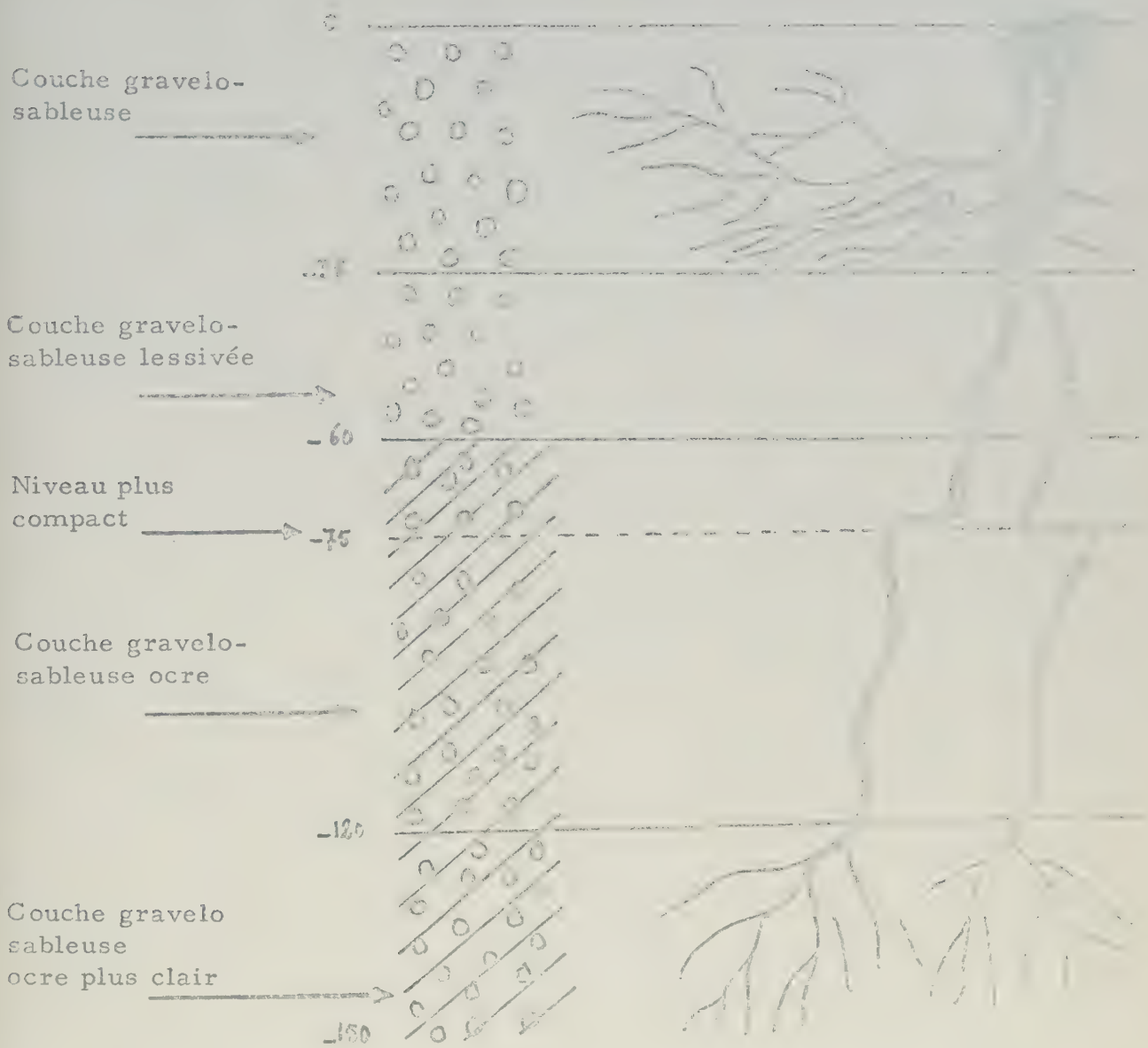

Fig. 4 - COUPE SCHEMATIQUE DU PROFIL n° 14

La répartition des racines d'un cep de vigne dans les différ[illegible]
du sol est représentée sur la droite du schéma.

Profondeurs en cm		0 - 20	40 - 60	70 - 90	110 - 130
Terre fine	%	48	37	32	27
Sable grossier	%	64,4	79,0	86,4	83,0
Sable fin	%	8,0	9,7	3,2	3,6
Limon grossier	%	3,5	2,5	1,5	1,5
Limon fin	%	6,5	6,5	4,0	3,5
Argile	%	15,0	2,0	4,5	7,5
Humidité actuelle	%	0,8	0,1	0,2	0,7
Matière organique	%	1,8	0,2	0,2	0,4
Humidité équivalente	%	15,3	6,1	6,7	8,8
Carbone	%	1,05	0,11	0,10	0,22
Azote	%	0,094	0,016	0,021	0,028
C/N		11,2	6,9	4,8	7,9
Complexe absorbant — K méq. p. 100 g.		0,26	0,10	0,14	0,26
Mg méq. p. 100 g.		0,40	0,33	0,33	0,23
Ca méq. p. 100 g.		9,10	1,65	2,35	3,65
S méq. p. 100 g.		+	+	+	+
T méq. p. 100 g.		9,45	1,40	1,70	3,60
V à pH 7		Sat.	Sat.	Sat.	Sat.
CO_3Ca actif	%	0,2	0,2	0,4	0,3
pH dans l'eau		7,40	7,15	7,35	7,25
P_2O_5	%	0,009	0,001	0,005	0,013
Fer libre	%	0,49	0,10	0,18	0,36

TABLEAU XV - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 14

110 - 140 cm - Mêmes caractères que la couche précédente, mais couleur ocre plus clair. Les grosses racines se ramifient dans cette zone en un chevelu peu abondant.

Résultats analytiques : tableau XV (profil n°14)

Commentaires

Ce sol est caractérisé par une zone intermédiaire (-35 -110cm) très pauvre en éléments nutritifs (N, K, Ca, P_2O_5) que les grosses racines traversent sans se ramifier.

La partie superficielle du sol dont les caractères analytiques sont voisins de ceux des autres sols médocains est bien exploitée par les racines. Après avoir traversé les horizons stériles, les grosses racines se ramifient dans des couches moins pauvres que les précédentes. Elles doivent s'enfoncer profondément pour permettre la survie de la vigne.

Les capacités d'échange du complexe absorbant sont très faibles (sauf en surface). Celui-ci est saturé (calcaire actif à l'état de traces) et les pH sont supérieurs à 7.

Les teneurs en acide phosphorique sont insignifiantes, même dans la partie la plus superficielle du sol.

C - Profil n° 15.

Ce profil a été étudié dans une parcelle légèrement en pente ($< 1\%$) à une altitude de 10 mètres. La vigne est âgée de 23 ans.

Description

0 - 20 cm - Couche gravelo-argileuse de couleur gris foncé. Structure grumeleuse très aérée (sans doute édifiée par les vers de terre qui sont très nombreux). Les grumeaux sont exploités par les radicelles d'une végétation herbacée recouvrant le sol.

Les racines de vigne, de toutes dimensions, sont très abondantes surtout dans les interlignes où l'on a apporté du fumier.

20 - 35 cm - Couche de couleur ocre, extrêmement argileuse mais avec de fortes proportions de cailloux. Structure polyédrique assez bien exprimée sous forme de petits éléments revêtus d'une pellicule de couleur ocre.

Racines assez abondantes, légèrement ramifiées entre les éléments structuraux.

35 - 45 cm - Sable graveleux gris-clair. Structure particulaire meuble. Peu de racines.

45 - 100 cm - Sable graveleux,légèrement argileux,de couleur ocre-jaune sans structure ni forte cohésion.

Cet horizon est traversé verticalement par des racines de grosses et moyennes dimensions. Elles se ramifient dans une zone qui semble plus argileuse que le reste de l'horizon.

Résultats analytiques : tableau XVI (profil n°15)

Commentaires

Ce profil est caractérisé par une zone superficielle très riche en grave et en argile, notamment de -20 à -35 cm. Comme ces horizons sont assez bien structurés, ils sont exploités par les racines qui y trouvent une humidité importante mais non excessive (humidité équivalente = 21 à 26 %) et suffisamment de cations échangeables. Les teneurs en carbone et azote sont élevées surtout dans les 20 premiers centimètres et les rapports C/N voisins de 10 (les échantillons analysés ont été prélevés sur la ligne où l'on n'a pas apporté de fumier).

A partir de -35 cm, la texture devient plus grossière et la richesse organique et minérale diminue. Les racines sont ici peu ramifiées mais les plus grosses continuent à s'enfoncer dans la roche-mère.

Les teneurs en acide phosphorique sont insignifiantes.

Les taux de calcaire actif sont faibles mais l'ion calcium est abondant et sature le complexe absorbant qui a une capacité d'échange assez élevée de 0 à -35 cm.

Profondeurs en cm		0 - 20	20 - 35	70 - 100
Terre fine	%	63	49	47
Sable grossier	%	51,1	36,0	79,9
Sable fin	%	6,6	4,0	3,9
Limon grossier	%	4,5	1,6	2,0
Limon fin	%	8,0	10,9	4,0
Argile	%	25,0	44,0	9,5
Humidité actuelle	%	1,7	2,4	0,5
Matière organique	%	3,0	1,2	0,2
Humidité équivalente	%	21,0	26,6	7,5
Carbone	%	1,78	0,68	0,11
Azote	%	0,164	0,059	0,012
C/N		10,9	11,5	9,2
Complexe absorbant — K	méq. p. 100 g.	0,56	0,83	0,32
Mg	méq. p. 100 g.	1,20	1,02	0,23
Ca	méq. p. 100 g.	14,90	16,60	3,50
S	méq. p. 100 g.	+	+	+
T	méq. p. 100 g.	14,30	15,60	3,60
V	à pH 7	Sat.	Sat.	Sat.
CO_3Ca actif	%	0	0,9	0,3
pH dans l'eau		6,80	7,65	7,30
P_2O_5	%	0,016	0,007	0,004
Fer libre	%	1,50	2,80	0,80

TABLEAU XVI - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 15

4. CAS PARTICULIERS

A. SOLS FORMES SUR ALLUVIONS RECENTES.

Les alluvions récentes (a^2 de la carte géologique) sont représentées par des marécages et des "palus" qui peuvent être partiellement submergés lors des fortes crues de la Garonne.

Sur les palus de la région médocaine, on rencontre des prairies et quelquefois de la vigne destinée à la production de vins de consommation courante.

Afin de comparer ces sols avec ceux des grands crus médocains, nous donnons ici un exemple étudié entre Labarde et Cantenac (région de Margaux) à une altitude de 3 mètres.

Résultats analytiques : tableau XVII (profil n°16)

Commentaires

Ce sol a une couleur bleuâtre sur presque toute sa hauteur. On y trouve de nombreuses concrétions de couleur noire et rouille. Il s'agit d'un sol à gley caractérisé par une texture argilo-limoneuse et une structure compacte qui limite la circulation de l'eau de la nappe phréatique. Cette nappe est proche de la surface avec une faible amplitude dans les variations de son niveau (-60 cm en hiver ; -160 cm à la fin de l'été). L'eau de cette nappe se trouve en relation avec les eaux plus ou moins saumâtres de la Gironde (les marées se font sentir très loin dans l'embouchure de la Garonne). Elle est riche en éléments minéraux (K = 0,54 méq. / l ; Na = 8,6 méq./ l ; Mg = 3,20 méq./ l et Ca = 2,6 méq. / l). On comprend ainsi la richesse en cations du complexe absorbant ainsi que leur répartition (le sodium est le cation dominant à partir de -80 cm).

Malgré un taux de saturation inférieur à 100 %, les pH mesurés au laboratoire, sont voisins de 8 (sauf en surface) car, la soude étant une base forte, les argiles sodiques sont hydrolysées en présence d'eau douce : les ions OH^- libérés augmentent le pH. Il est vraisemblable qu'en présence de l'eau légèrement salée de la nappe phréatique, les pH sont moins élevés dans le sol en place (DUCHAUFOUR, 1965).

Les caractères analytiques de ce sol sont diamétralement opposés à ceux des sols des grands crus : fortes proportions d'éléments fins (environ 85 % de particules inférieures à 20 μ), richesse en carbone et en azote, capacités d'échange beaucoup plus élevées, fortes teneurs en cations échangeables.

Profondeurs en cm		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180
Terre fine	%	99	100	100	100	100	100	100	100	100
Sable grossier	%	6,5	3,5	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0	0,7	0,2
Sable fin	%	2,6	1,5	0,7	0,5	0,8	0,7	0,8	1,0	0,3
Limon grossier	%	5,8	4,5	5,4	10,7	10,6	7,7	5,9	11,7	11,2
Limon fin	%	37,1	33,7	34,8	36,6	37,0	37,6	34,7	28,2	32,6
Argile	%	41,5	50,4	51,7	46,8	46,0	48,2	52,2	53,4	50,5
Humidité actuelle	%	3,7	4,3	4,4	3,5	3,7	4,1	4,7	4,3	4,3
Matière organique	%	2,9	2,1	1,6	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9
Humidité équivalente	%	36,4	35,2	39,6	36,9	37,4	41,4	47,2	48,0	47,4
Carbone	%	1,64	1,23	0,91	0,48	0,45	0,42	0,42	0,43	0,50
Azote	%	0,149	0,111	0,071	0,050	0,043	0,043	0,042	0,045	0,046
C/N		11,0	11,1	12,8	9,6	10,5	9,8	10,0	9,6	10,9
Complexe absorbant	K méq. p. 100 g.	0,70	0,59	0,54	0,69	0,82	0,90	1,19	1,21	1,23
	Na méq. p. 100 g.	0,82	1,82	3,36	5,18	6,56	6,25	9,20	9,20	9,60
	Mg méq. p. 100 g.	3,90	5,39	7,80	7,06	5,06	5,80	5,93	5,80	5,80
	Ca méq. p. 100 g.	9,76	9,40	6,95	5,98	5,98	6,20	5,25	5,00	4,63
	Cu P.p.m.	12	0	0	0					
	S méq. p. 100 g.	15,18	17,20	18,65	18,91	18,42	19,15	21,57	21,21	21,26
	T méq. p. 100 g.	23,20	24,90	24,05	21,20	22,60	23,40	27,15	25,90	25,75
	V à pH 7	65,4	69,0	77,5	89,1	81,5	81,8	79,4	81,8	82,5
pH dans l'eau		6,05	6,70	7,35	7,90	7,90	7,95	8,05	8,00	7,75
P2O5	%	0,029	0,024	0,023	0,022	0,029	0,034	0,036	0,060	0,065
Fer libre	%	0,56	0,60	0,69	0,74	0,70	0,74	0,70	0,80	0,76

TABLEAU XVII - CARACTERES ANALYTIQUES DU PROFIL N° 16

Il s'agit donc d'un sol à enracinement superficiel, riche en éléments nutritifs et bien pourvu en eau. Le sodium n'est pas gênant dans les 60 premiers centimètres, zone où est concentrée la plus grande partie des racines. Les rendements de la vigne y sont élevés mais les vins sont de médiocre qualité (l'acidité du moût, exprimée en g par litre de H_2SO_4, reste toujours importante : 10,4 g /l le 21 septembre I967 et 8,1 g / l le 2 octobre I967, la moitié environ étant représentée par l'acide malique).

Remarques : on ne retrouve pas ici tous les caractères du sol à gley typique (la teneur en fer libre des horizons superficiels est plus faible que celle des horizons profonds); il s'agit d'un amphigley où une hydromorphie temporaire superficielle se superpose à une hydromorphie profonde due à la nappe phréatique.

B. SOLS SATURES D'EAU.

Il est assez difficile de comparer le comportement de la vigne dans des sols très humides et dans des sols voisins normalement drafnés. Cette étude est néanmoins possible lorsqu'on rencontre des zones présentant un excès d'humidité par suite de discontinuités texturales. On les reconnaft à leur forme plus ou moins circulaire, très nettement délimitée, de quelques mètres à 50 mètres de diamètre. A l'intérieur de ces zones, le sol est pauvre en matière organique et de couleur claire, les cailloux sont délavés et brillants. A côté (la transition se fait sur quelques dizaines de centimètres), le sol a une couleur plus foncée. En hiver et au printemps, ces zones sont saturées d'eau au point de rendre impossible tout travail du sol. Elles sont nettement mises en évidence par la rareté de la végétation adventice et par l'aspect des ceps qui ont réussi à survivre. L'implantation des jeunes vignes se révèle souvent très difficile : un grand nombre de boutures meurent et celles qui subsistent restent rachitiques.

Nous décrivons ici un cas typique situé dans la région de Margaux (altitude = 7 mètres). La roche-mère est constituée par des sables graveleux quaternaires reposant sur un soubassement de marnes et calcaires tertiaires.

Description du profil n° 17 (Fig. 5)

Dans le sol présentant une discontinuité texturale, on observe les caractères suivants :

0 - 60 cm - Couche sablo-graveleuse de couleur gris très clair, pauvre en matière organique. Structure particulaire meuble. A partir de -30 cm quelques grosses racines de direction verticale mais très peu ramifiées. Cet horizon est saturé d'eau.

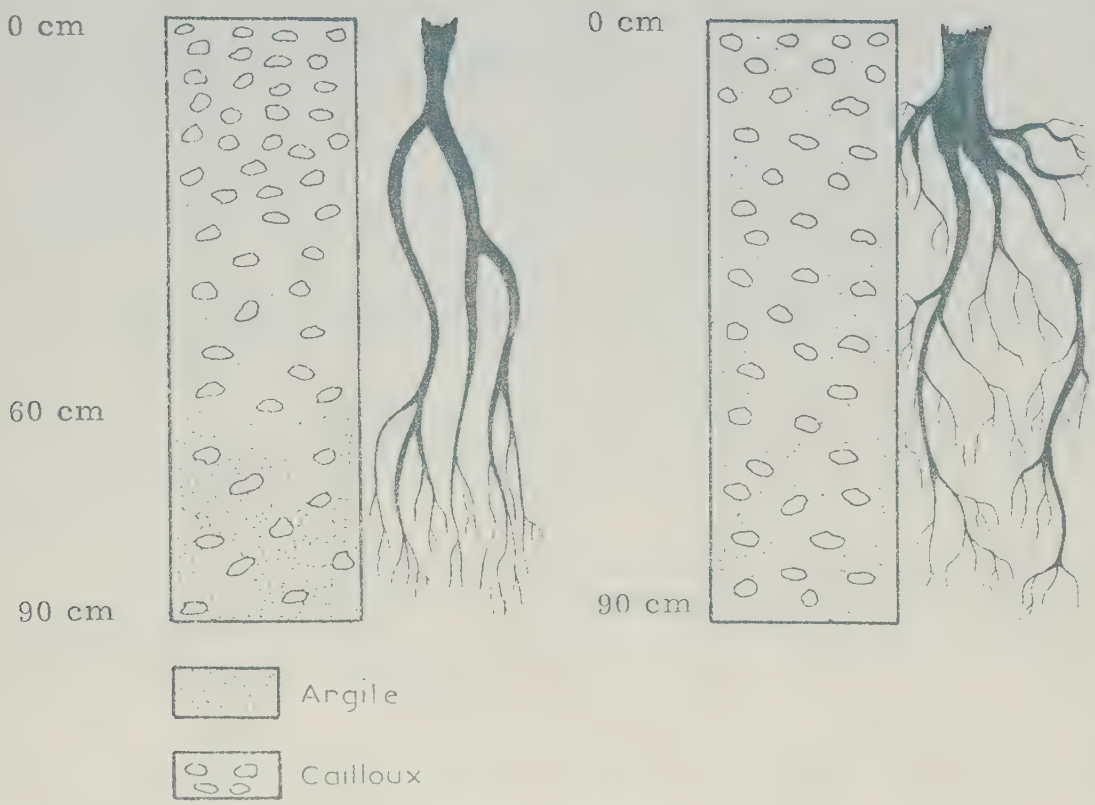

Fig. 5 - COUPES SCHEMATIQUES DES PROFILS n°17 - 18 .

A gauche : profil présentant une discontinuité texturale.
A droite : profil normal

La répartition des racines d'un cep de vigne dans les différentes zones du sol est représentée sur la droite des schémas. Sur le profil de gauche, on remarque l'absence de radicelles dans les couches superficielles saturées d'eau.

- 60 - 90 cm - Horizon marmorisé, très argileux, de couleur ocre et gris-bleuté, contenant quelques concrétions noires de fer et de manganèse (boules de 1 à 2 mm de diamètre). Il est très compact (structure particulaire massive) et cependant assez bien exploité par les radicelles de la vigne.

Description du profil nº 18 (Fig. 5)

Le "sol normal" a été étudié à 10 mètres environ du précédent. On peut observer les caractères suivants :

0 - 20 cm - Couche sablo-graveleuse dont la couleur gris foncé est due à une teneur en matière organique plus élevée que dans le profil précédent. Structure particulaire meuble.

-20 -60 cm -Couche de couleur ocre clair présentant les mêmes caractères que la couche précédente mais avec une texture plus argileuse.

-60 -90 cm - Horizon légèrement plus argileux que le précédent et de couleur ocre. Apparition d'un début de structure sous forme de petits polyèdres mal individualisés, donnant une aération et une perméabilité convenables à cet horizon.

Les racines sont réparties d'une manière homogène sur toute la hauteur du profil. Elles sont de toutes dimensions et leurs ramifications successives donnent des radicelles qui exploitent les différentes couches. Les radicelles sont plus abondantes à partir de -60 cm.

Résultats analytiques : tableau XVIII (profils n°17 et 18)

Au point de vue morphologie et texture, le profil n°17 est caractérisé par la présence à -60 cm d'une couche très argileuse alors que les parties superficielles sont dépourvues d'éléments fins. Cette couche argileuse, extrêmement compacte et par conséquent imperméable, permet l'établissement d'une nappe perchée dont l'eau sature les horizons supérieurs à texture grossière pendant la plus grande partie de l'année. Le sol normal ne présente pas cette discontinuité texturale et est parfaitement drainé.

Dans la couche superficielle du sol n°17, on peut noter la faible teneur en cations métalliques échangeables (K^+, Mg^{++}, Ca^{++})

Profondeurs en cm		0 - 10	23 - 35	60 - 90	0 - 10	25 - 35	50 - 90
Terre fine	%	23	41	80	33	54	70
Sable grossier	%	75,8	67,0	37,0	57,7	55,7	56,2
Sable fin	%	13,0	15,5	10,1	14,0	15,4	13,3
Limon grossier	%	5,0	5,5	3,1	6,0	6,0	5,5
Limon fin	%	4,0	6,5	12,3	10,0	7,5	9,0
Argile	%	1,0	4,5	35,0	9,0	13,5	14,5
Humidité actuelle	%	0,2	0,3	1,7	0,7	0,7	0,7
Matière organique	%	1,0	0,7	0,8	2,7	1,2	1,0
Humidité équivalente	%	7,9	8,9	23,0	18,9	17,3	16,2
Carbone	%	0,55	0,40	0,48	1,57	0,69	0,57
Azote	%	0,053	0,045	0,056	0,160	0,078	0,073
C/N		10,4	8,9	8,6	9,8	8,8	7,8
Complexe absorbant — K	méq. p. 100 g.	0,11	0,14	0,50	0,53	0,28	0,27
Mg	méq. p. 100 g.	0,37	0,82	0,97	0,42	1,20	1,20
Ca	méq. p. 100 g.	2,35	2,45	13,00	+	+	+
S	méq. p. 100 g.	2,83	3,41	14,47	+	+	+
T	méq. p. 100 g.	3,20	3,40	14,45	10,00	8,40	8,00
V à pH 7		88,4	100	100	Sat.	Sat.	Sat.
CO_3Ca actif	%	0	0	0	0	0,6	1,2
pH dans l'eau		6,70	6,45	6,45	7,30	7,85	7,95
P_2O_5	%	0,010	0,016	0,010	0,036	0,035	0,020
Fer libre	%	0,14	0,29	1,32	0,36	0,43	0,54
		Profil n° 17			Profil n° 18		

TABLEAU XVIII - CARACTERES ANALYTIQUES DES PROFILS N° 17 et 18

et la désaturation partielle du complexe absorbant se traduisant par une réaction acide. Le rapport entre la teneur en fer libre des horizons profonds et de surface est de 9,4 alors qu'il n'atteint que 1,5 dans le sol normal. En outre, le profil n° 17 est beaucoup plus pauvre en matière organique que le sol normal.

Un problème se pose d'emblée à propos de la couche argileuse du profil n°17. Si le lessivage des argiles de la partie superficielle a pu contribuer à sa formation, on ne peut l'attribuer à ce seul phénomène. Il ne semble d'ailleurs pas y avoir de raisons pour que, sur une parcelle qui aurait été homogène, il y ait eu dans des zones de forme grossièrement circulaire et surtout bien délimitées, un lessivage beaucoup plus important qu'aux alentours. Si l'on fait abstraction des éléments fins susceptibles de migrer (il s'agit essentiellement de la fraction argileuse dont le diamètre est inférieur à 2 microns) et que l'on calcule le pourcentage des sables grossiers par rapport à la fraction de terre fine supérieure à 2 μ :

$$\frac{\text{sables grossiers} \times 100}{\text{terre fine} > 2\,\mu}$$

il est possible, dans certains cas, de déterminer l'origine de la couche argileuse. Lorsque le pourcentage présente une valeur à peu près constante dans les différents horizons, il s'agit d'un sol formé sur une roche-mère à texture homogène : l'accumulation d'argile provient du lessivage. Si au contraire ce pourcentage varie, on peut conclure à une hétérogénéité texturale de la roche-mère. Ces calculs effectués sur les deux sols de Margaux sont reproduits dans le tableau suivant :

Pourcentages de sables grossiers par rapport à la fraction de terre fine supérieure à 2 microns dans le sol saturé d'eau (profil n° 17) et dans le sol sain (profil n° 18)

	0 - 10 cm	- 25-35 cm	-60-90 cm
Profil n° 17	77,5	70,9	59,1
Profil n° 18	65,8	65,8	66,9

On n'a pas tenu compte du pourcentage de cailloux car la terre fine est entraînée par les pluies qui laissent à la surface du sol un tapis pratiquement continu de graves ; d'autre part, les viticulteurs utilisent des techniques de labour qui ramènent les cailloux en surface.

Dans le profil n° 18 (sol normal), ces pourcentages sont à peu près constants : l'accumulation d'argile provient d'un lessivage. Dans le profil n°17, ces pourcentages varient et indiquent que la plus forte teneur en argile provient, en partie, de l'hétérogénéité de la roche-mère. On peut donc admettre qu'une zone profonde plus argileuse préexistait avant que ne commence la formation du sol. Dans ces alluvions fluviatiles où la sédimentation s'est faite d'une manière très irrégulière suivant la vitesse du courant, des dépôts argileux ont pu se former dans des dépressions de forme plus ou moins circulaire où l'eau stagnait. Cette couche argileuse aurait été recouverte ensuite par des dépôts gravelo-sableux qui seraient venus combler la cuvette. Au cours de l'évolution du sol, la stagnation de l'eau (nappe perchée) dans un milieu pauvre en colloïdes a pu favoriser le lessivage du fer, des divers cations échangeables et peut être de l'argile.

L'interprétation que nous venons de donnerne s'applique qu'aux sols étudiés à Margaux. L'existence de lentilles argileuses est cependant le cas le plus fréquent dans la région médocaine. Par contre, dans les Graves de Bordeaux, le plancher argileux est le plus souvent constitué par des argiles tertiaires recouvertes d'une faible épaisseur de sables graveleux du quaternaire ancien.

Dans tous les cas que nous avons étudiés (Médoc, Graves, Premières Côtes de Bordeaux), nous retrouvons ces mêmes caractères dans les couches superficielles du sol : pauvreté en argile, lessivage du fer et des cations échangeables, abaissement du pH, faible teneur en matière organique, établissement au-dessus du niveau argileux d'une nappe perchée. Cette dégradation du sol et ses conséquences vis-à-vis de la végétation de la vigne sont plus ou moins nettes suivant l'épaisseur de terre recouvrant le plancher argileux.

Si cette épaisseur est faible mais cependant suffisante pour mettre l'horizon argileux hors de portée des défonçages (50 à 100 cm environ), il se forme une nappe perchée alimentée par les eaux météoriques. Les racines sont alors incapables de se développer normalement en présence d'eau libre, même lorsque le sol est enrichi par d'importants apports de fumures minérales et organiques. Certaines racines réussissent cependant à atteindre la couche argileuse (elles se développent sans doute au cours de périodes sèches, après disparition de la nappe perchée par évaporation et drainage lent) où elles trouvent un milieu plus riche et plus sain qu'en surface. Mais même dans ce cas, les ceps restent rachitiques et sont atteints de rougeau. On peut penser que la présence d'une nappe perchée forme un écran qui empêche la circulation des gaz et provoque l'asphyxie des racines profondes tandis que la couche superficielle du sol, souvent saturée d'eau, est mal exploitée par les radicelles.

Plus l'épaisseur de sables graveleux recouvrant la couche argileuse est importante, plus la hauteur de sol exploitable par les racines augmente et plus les phénomènes précédemment décrits sont atténués. A partir du moment où cette hauteur atteint 1,5 à 2,5 mètres, la vigne retrouve un comportement normal.

Constitution des moûts obtenus
à partir de raisins prélevés sur sol saturé d'eau (I)
et sur sol sain (II)

	I	II
Sucres (g/l)	178	208
Acidité (g/l en H_2SO_4)	5,5	4,5
Acide tartrique (meq/l)	106	98
Acide malique (meq/l)	34	20
Sucre/acidité	32	46

Les rares raisins produits (dans certains cas la production est 12 fois plus faible que sur un sol normal) sont toujours de mauvaise qualité. Voici par exemple, dans le tableau ci-dessus, les résultats d'analyses effectuées le 20 septembre 1966 à partir d'échantillons prélevés à Cantenac sur un de ces types de sol (I) et sur un des sols normaux de la propriété (II). On note dans (I) l'acidité élevée et la faible teneur en sucres. L'addition d'un tel raisin, même en faible quantité, au reste de la vendange ne peut que diminuer la qualité du vin.

Il est important que les viticulteurs connaissent ce phénomène observé en Médoc mais aussi dans les Graves, le Sauternais et les Premières Côtes de Bordeaux. Lorsque la couche argileuse est proche de la surface, ils identifient facilement ces "mouillères". Il n'en est plus de même lorsque la couche argileuse est un peu plus profonde et que la partie superficielle du sol reste sèche. Ignorant la cause de la mauvaise végétation de la vigne (qu'ils attribuent à une carence quelconque), ils essayent de replanter des boutures après de gros apports de fumures, investissant ainsi des sommes importantes dans une entreprise qui n'a aucune chance d'aboutir tant que ces sols n'auront pas été assainis efficacement.

V - CARACTERES ESSENTIELS DES SOLS MEDOCAINS

1. PROFIL RADICULAIRE DE LA VIGNE SUIVANT LA NATURE DU SOL

a. Profondeur des sols de vignobles

Les observations faites dans la région bordelaise (profils, forages, carrières) révèlent une gamme de sols dont les profondeurs exploitées par les racines varient de quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres. A Saint-Emilion par exemple, certains sols sur roche-mère calcaire possèdent une épaisseur de terre meuble ne dépassant pas 40 cm (des caves creusées dans le calcaire et s'étendant au-dessous du vignoble, montrent que les racines ne pénètrent pas dans la roche-mère). Dans les Graves de Bordeaux, on peut observer des racines jusqu'à 5 et 6 mètres de profondeur. Elles atteignent des profondeurs aussi importantes en Médoc, lorsque la proximité de la nappe phréatique ne limite pas leur développement.

b. Compacité du sol

Les racines de la vigne sont temporairement arrêtées par un horizon compact (horizon argileux à structure massive) ou offrant une certaine résistance (concrétionnements ferriques en masse). Elles serpentent à sa surface jusqu'à ce qu'elles rencontrent une "faille" où elles peuvent s'infiltrer. Elles choisissent comme lieu de passage les endroits les plus meubles tels que les gaines d'anciennes racines décomposées, les galeries des vers de terre ou encore les failles de glaciation que l'on rencontre dans les alluvions quaternaires de la Garonne (SEGUIN, 1965). Il existe cependant une exception à cette règle : nous évoquerons ce cas plus loin (d).

c. Chimiotropisme

Les racines sont abondantes dans les zones les plus riches du sol où elles se ramifient. Lorsque du fumier (profils n° 6, 14 et 15) ou des marnes (profils n°1, 2, 9 et 10) ont été enfouis à faible profondeur entre les rangs de vigne, les racines se développent vers la surface et se ramifient en un chevelu très dense dans le fumier ou les marnes.

Ce chimiotropisme est très bien mis en évidence lorsqu'une inclusion riche en éléments assimilables se rencontre accidentellement dans une zone où, par ailleurs, les racines sont rares. A Saint-Julien (profil n°10), un bloc argileux enterré à -60 cm au sein d'un horizon gravelo-sableux est complètement envahi par les radicelles. Sur le même profil, à -80cm, l'extrémité d'un piquet en voie de décomposition est également envahie par les radicelles qui pénètrent dans les fibres du bois après les avoir écartées. Ailleurs, (dans un sol de l'Entre-Deux-Mers), on peut voir une larve de hanneton entourée par une véritable "coque" de radicelles : toute la larve a été digérée à l'exception des parties chitineuses.

d. Répartition des racines suivant l'état d'oxydation du fer

Dans les profils présentant en profondeur des alternances de couleurs gris-bleu et rouille, on peut constater que les radicelles de la vigne sont nombreuses et très ramifiées dans les zones où le fer se trouve à l'état réduit et presque totalement absentes ou du moins pas ramifiées dans celles où le fer se présente à l'état ferrique concrétionné. Ce phénomène très général a été observé dans des sols de la région des Graves, des Premières Côtes de Bordeaux et bien entendu du Médoc (profils n° 7, 8, 9, 10 et 13).

Dans certains cas, la dureté du concrétionnement peut constituer un obstacle à la pénétration des racines (par exemple de -125 à -245cm dans le profil n°9). Dans de nombreux autres cas, on ne peut plus faire appel à ce facteur car le concrétionnement ferrique entoure les particules sableuses mais sans les souder entre elles (par exemple de -30 à -60 cm dans le profil n°9). Bien que ces horizons soient alors meubles et bien aérés et que leur constitution physique et chimique ne présente pas d'anomalies, on n'y observe pas de radicelles vivantes (on rencontre quelques grosses racines qui les traversent verticalement mais sans s'y ramifier).

L'abondance et la ramification des radicelles dans les zones de couleur gris-bleu ne s'explique pas par des propriétés mécaniques car, dans la plupart des cas et notamment dans les Premières Côtes de Bordeaux, ces zones sont souvent très compactes. La richesse minérale ou organique, le pH, la constitution granulométrique ou la capacité de rétention pour l'eau ne permettent pas d'expliquer ce phénomène.

On sait que la présence de matière organique ou de racines favorise la formation d'un milieu réducteur (pouvoir réducteur de la matière organique, absorption d'oxygène par les racines). Cela ne constitue pas une explication satisfaisante dans les cas qui nous intéressent puisqu'on rencontre des zones bleues dans lesquelles on ne trouve pas de racines et où le taux de matière organique est pratiquement nul. Le phénomène n'est donc pas dû à une ancienne racine qui se serait décomposée ; on peut d'ailleurs constater sur des coupes profondes de sols que les zones bleues ne sont pas cylindriques mais en forme de plans plus ou moins horizontaux (la même observation a été faite sous une végétation de pins maritimes).

On a constaté que la circulation de l'eau dans le sol se fait d'une manière préférentielle dans certaines zones (voir à ce propos les commentaires du profil n° 9) ce qui expliquerait l'état réducteur du milieu et le maintien du fer sous la forme ferreuse.

L'existence d'un milieu réducteur semble être préalable à la colonisation des racines qui pourraient rechercher le fer sous sa forme la plus soluble (Fe^{++}).

e. Horizons saturés d'eau

Les racines de la vigne ne peuvent pas se développer normalement dans les sols saturés d'eau. Dans la région médocaine où l'on a réalisé cinq forages profonds à l'aide d'une tarière de 200 mm, on n'a jamais observé de racines ou de radicelles dans les couches du sol qui sont constamment saturés d'eau (nappe phréatique).

Dans les horizons superficiels qui, par suite d'une discontinuité texturale, sont saturés d'eau pendant la plus grande partie de l'année, on n'observe pas de radicelles. Les grosses racines que l'on rencontre ont pu se développer au cours de périodes sèches où la nappe perchée avait disparu (par évapotranspiration et drainage lent). Ces grosses racines qui sont plus ou moins isolées du milieu extérieur par une assise subérisée peuvent survivre lorsque les horizons où elles se trouvent sont saturés d'eau.

f. Répartition des racines dans les différentes couches du sol

Les sols médocains dérivent de sols podzoliques, de sols lessivés ou de sols bruns lessivés mais dont le type génétique a été profondément modifié par la culture de la vigne.

On rencontre généralement la plus grande densité de racines dans les 50 ou 80 premiers centimètres. Les grosses racines, plus ou moins horizontales, se ramifient jusqu'au chevelu dans cette zone qui, à cause des défonçages et des apports de fumures, est la partie la plus meuble et la plus riche du sol. Sauf dans le cas où des apports superficiels de marnes ou de fumier favorisent une "remontée" des racines, elles sont peu abondantes dans les 15 ou 20 premiers centimètres.

Les zones lessivées, pauvres en éléments assimilables, sont traversées verticalement par les grosses racines qui s'y ramifient peu. On observe le même fait dès la surface lorsque, par suite de conditions particulières (profils n° 1, 6, 14 et 17), les horizons superficiels possèdent des propriétés physiques ou chimiques défavorables.

Les horizons illuviaux sont souvent aussi riches en éléments minéraux que les couches de subsurface mais, suivant l'état de leur structure, on peut distinguer deux cas. Lorsque la structure est massive, les grosses racines serpentent à la limite supérieure de l'horizon puis le traversent sans se ramifier. Lorsque la structure est bien exprimée (elle est généralement polyédrique), les racines se ramifient et les radicelles pénètrent entre les éléments structuraux qu'elles recouvrent d'un lacis très dense, particulièrement lorsqu'ils sont enrobés d'argile (clay - skin). Mais ces radicelles ne pénètrent que rarement à l'intérieur des polyèdres et l'on comprend l'intérêt d'une bonne structure pour améliorer l'alimentation minérale de la vigne dans les sols pauvres et peu profonds.

Dans la roche-mère, on observe souvent, jusqu'à de très grandes profondeurs (5 à 6 mètres), un enracinement important. Bien entendu, ce phénomène ne se produit que lorsque la roche-mère est suffisamment meuble et dans la mesure où la nappe phréatique ne limite pas l'enfoncement des racines.

A l'exception des zones de couleur gris-bleu dont nous avons déjà parlé, la densité des racines au sein de la roche-mère est généralement plus faible que dans les couches de subsurface ; mais, comme la profondeur exploitée est grande, on peut considérer qu'une partie des racines, difficile à déterminer mais à coup sûr très importante, est située dans la partie non évoluée du sol.

La vigne est maintenue en place pendant de nombreuses années, 30 à 50 ans en moyenne et beaucoup plus dans certains cas particuliers, ce qui lui permet de développer son système radiculaire jusqu'à de très grandes profondeurs par le processus normal du géotropisme. Cet enracinement profond est souvent une nécessité pour pouvoir subsister dans des sols pauves et secs.

2. TEXTURE DES SOLS

A l'aide des résultats analytiques obtenus à partir de tous les sols de vignobles étudiés en Médoc, nous avons établi des moyennes portant sur les couches de surface (0-30 cm) et sur les horizons profonds (-60 -100 cm) (tableau IXX).

Les sols que l'on rencontre sont toujours caillouteux : en surface, les pourcentages de cailloux varient de 10 à 60 % (moyenne : 32 %) tandis qu'en profondeur ils sont un peu plus élevés (moyenne: 33 %), pouvant dépasser 70 % en certains points. Le promeneur qui jette un coup d'œil rapide sur les sols du vignoble médocain a l'impression qu'ils renferment d'énormes quantités de cailloux. En réalité, les proportions de terre fine sont souvent voisines de 60 à 70 % mais la moindre pluie suffit pour entraîner cette terre fine entre les cailloux qui, lavés, forment un revêtement pratiquement continu à la surface du sol.

Dans la plupart des cas, la texture de la terre fine est sableuse (avec de fortes proportions de sables grossiers) mais, dans un même cru, on rencontre souvent, à côté des sols sableux qui sont fortement majoritaires, des sols naturellement argileux ou qui le sont devenus par marnage. La valeur moyenne du taux d'argile est de 11 % en surface, valeur relativement élevée qui s'explique par les apports de marnes dans certains des sols étudiés, tandis qu'en profondeur, par suite du lessivage, les teneurs moyennes en argile sont de 16 %.

3. HUMIDITE EQUIVALENTE -

L'humidité équivalente (de la terre fine) est faible en surface (moyenne 13,8 %) et même en profondeur (12,6 %) où des teneurs plus élevées en argile compensent, à cet égard, la pauvreté en matière organique. Le problème de l'alimentation en eau de la vigne sera traité dans la deuxième partie.

Profondeurs en cm		0 - 30	60 - 100
Terre fine	%	68	64
Sable grossier	%	63,0	63,0
Sable fin	%	10,6	8,8
Limon grossier	%	4,5	4,0
Limon fin	%	8,2	6,6
Argile	%	11,0	16,1
Humidité actuelle	%	0,9	1,0
Matière organique	%	1,8	0,5
Humidité équivalente	%	13,8	12,8
Carbone	%	1,04	0,29
Azote	%	0,084	0,038
C/N		12,3	7,6
Complexe absorbant — K méq. p. 100 g.		0,28	0,25
Na méq. p. 100 g.		0,16	0,16
Mg méq. p. 100 g.		0,59	0,65
Ca méq. p. 100 g.		5,50	4,91
S méq. p. 100 g.		6,52	5,97
T méq. p. 100 g.		6,90	6,80
V à pH 7		94,5	87,5
pH dans l'eau		6,6	6,5
P_2O_5	%	0,032	0,023
Fer libre	%	0,43	0,64

TABLEAU IXX - CARACTERES ANALYTIQUES MOYENS DES SOLS DU VIGNOBLE MEDOCAIN

4. MATIERE ORGANIQUE -

Les teneurs en carbone et azote sont presque convenables en surface grâce à d'importants apports de fumures organiques (C= 1,04% N = 0,084 %). La valeur moyenne du rapport C/N (12,3) est un peu élevée pour des sols cultivés mais s'explique,en partie,par la décomposition incomplète des fumures organiques au moment où les prélèvements ont été faits. A partir de -60 cm, les taux de carbone (0,29 %) et d'azote (0,038 %) deviennent très faibles mais avec une valeur du rapport C/N basse (7,6).

En ce qui concerne la qualité de cette matière organique, on notera sur le tableau XX que, dans l'ensemble, les taux d'humification sont assez élevés avec une prédominance nette des acides humiques sur les acides fulviques (AF/AH inférieur à 1). Ces caractères de la matière organique des couches superficielles du sol pourraient faire songer à un horizon A_1 de sol ocre podzolique (DUCHAUFOUR, 1965). La comparaison s'arrête là car, ni les teneurs totales en matière organique, ni les rapports C/N, ni l'indice de lessivage du fer ne correspondent à un tel type de sol. Les sols de vignobles sont des sols cultivés qui n'ont plus rien de commun avec le type génétique originel (apports plus ou moins fréquents, suivant les cas, de fumures organiques et minérales, défonçages, travaux superficiels saisonniers, etc.).

On notera également (tableau XX) que, dans les horizons saturés d'eau (profils n°1 et 17), les taux d'humification sont plus élevés que dans les sols voisins normalement drainés (profils n°2 et 18) mais avec une proportion plus importante d'acides fulviques (AF/AH voisin de 1) et une teneur plus faible en carbone total.

La pauvreté en matière organique est un trait caractéristique des sols de vignobles car, chaque fois que l'on a étudié des sols voisins ayant évolué sous forêt ou sous prairie (SEGUIN, 1965), on a constaté que leurs teneurs en carbone et azote étaient très nettement supérieures à celles des sols de vignobles. Une grande partie de la matière organique élaborée par la forêt ou la prairie est restituée au sol alors que, dans le cas de la vigne, une fraction importante de cette matière organique est exportée (raisins et sarments). Les seuls résidus végétaux retournant au sol sont les rares herbes détruites périodiquement par les travaux culturaux et les feuilles de vigne qui "se vident" au profit des raisins,des rameaux et de la souche (aoûtement).

Numéros des profils	Carbone total %	C/N	Carbone des A.F.	Carbone des A.H.	A. F. / A. H.	Taux d'humif. %
1	0,31	14,1	0,07	0,07	1,0	45
2	0,58	11,1	0,08	0,13	0,6	36
3	0,80	11,6	0,05	0,17	0,3	28
4	0,52	10,6	0,10	0,16	0,6	50
5	0,85	12,1	0,10	0,25	0,4	41
6	0,62	12,4	0,08	0,16	0,5	39
7	0,65	10,3	0,05	0,10	0,5	23
8	0,48	10,4	0,08	0,17	0,5	52
10	0,97	11,4	0,07	0,15	0,5	23
11	1,35	11,4	0,13	0,20	0,6	24
12	1,16	12,7	0,09	0,22	0,4	27
13	1,17	11,0	0,11	0,35	0,3	39
14	1,05	11,2	0,12	0,18	0,7	29
15	1,78	10,9	0,15	0,31	0,5	26
16	1,64	11,0	0,10	0,22	0,5	20
17	0,55	10,4	0,08	0,10	0,8	33
18	1,57	9,8	0,16	0,26	0,6	27

TABLEAU XX - MATIERE ORGANIQUE DES SOLS DE VIGNOBLES

Les analyses ont été faites sur les couches superficielles des sols étudiés. A.F. = acides fulviques, A.H. = acides humiques, Taux d'humification = $100. \frac{\text{carbone des acides fulviques et humiques}}{\text{carbone total}}$

L'apport de matière organique fraîche au sol par l'intermédiaire des feuilles ne doit pas faire illusion : ces apports sont beaucoup trop faibles pour compenser les pertes dues à la minéralisation qui est d'ailleurs très active dans ces sols. Les réserves organiques des sols de vignobles seraient depuis longtemps épuisées si, de tous temps, on n'y avait pas apporté des quantités importantes de fumiers et de composts.

Cette pauvreté en matière organique des sols de vignobles n'est pas un véritable défaut puisque l'expérience montre que les sols très humifères donnent des vins médiocres. Il convient cependant de maintenir un taux suffisant de matière organique en surface afin d'améliorer l'état et la stabilité de la structure, la résistance à l'érosion, la capacité d'échange du complexe absorbant, la nutrition azotée de la vigne et, surtout, d'assurer la conservation du sol. Cette notion de conservation du sol est d'une importance primordiale au moment où les engrais minéraux remplacent partiellement (et quelquefois totalement) les fumures organiques. Si ces engrais minéraux donnent une bonne fertilité immédiate, ils accélèrent la minéralisation d'une matière organique déjà insuffisante. Or, dans un sol privé de matière organique, la faune et la microflore disparaissent tandis que la fertilité diminue rapidement. Il faut donc apporter au sol, en même temps que des engrais minéraux et des engrais verts, riches en azote, une matière organique à rapport C/N élevé qui ne se minéralisera que très lentement. Actuellement, certains viticulteurs ont senti le danger et répandent entre les rangs de vigne, outre le fumier (que l'on trouve de plus en plus difficilement) et les gadoues, des sous-produits de la viticulture et de la vinification tels que sarments broyés et marcs de raisins.

5. COMPLEXE ABSORBANT ET ALIMENTATION MINERALE DE LA VIGNE -

Par suite des faibles teneurs en humus et en argile et de la nature minéralogique de ces argiles (surtout illites et kaolinites, SEGUIN 1965) qui ont un faible pouvoir de fixation, les capacités totales d'échange sont faibles. En moyenne, elles sont de 6,9 méq. pour 100 g de terre fine en surface et de 6,8 méq en profondeur où des taux plus élevés d'argile compensent à cet égard la faible teneur en humus.

Dans les sols étudiés en Médoc, on observe une corrélation satisfaisante entre la valeur de la capacité totale d'échange d'une part et la somme du pourcentage d'argile et de 10 fois le pourcentage de carbone d'autre part (Fig. 6).

Le complexe absorbant est presque saturé par les faibles quantités de cations échangeables se trouvant dans le sol si bien que les pH sont voisins de 7 (6,6 et 6,5 en moyenne). Contrairement à ce que l'on croit, les sols siliceux du Médoc ont, assez fréquemment, une réaction

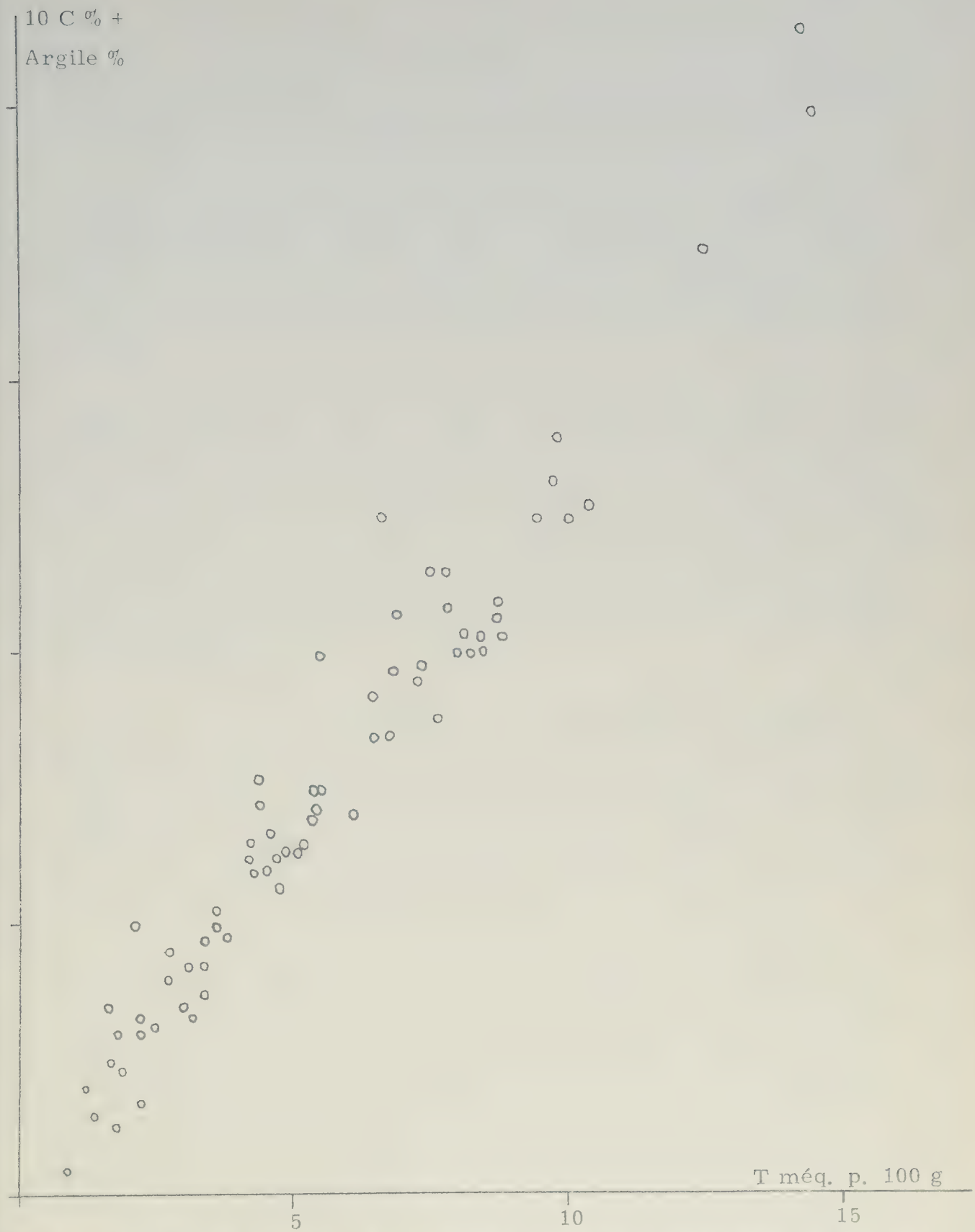

Fig. 6 - RELATIONS ENTRE LA CAPACITE TOTALE D'ECHANGE (T) ET LES TENEURS EN ARGILE ET EN CARBONE DANS LE PREMIER METRE DE SOL

alcaline : on n'y trouve pas (ou très peu) de calcaire actif mais un léger excès de calcium suffit à amener le pH aux environs de 7,5 à 8 dans ces sols où le pouvoir tampon est faible.

Comme on a pu le voir dans les tableaux analytiques, la réaction des sols des grands crus peut être aussi bien alcaline que nettement acide. Il est vrai qu'avant l'invasion phylloxérique un même cépage européen était cultivé indifféremment sur des sols acides ou sur des sols riches en calcaire actif et pouvait donner, dans les deux cas, des vins d'une haute qualité bien qu'ayant des caractères organoleptiques différents.

Les teneurs moyennes en acide phosphorique assimilable sont plutôt élevées (0,32 ‰ en surface et 0,23 ‰ en profondeur). En fait, l'étude détaillée des résultats analytiques montre que ces teneurs sont soit faibles, soit élevées. D'autre part, les analyses d'échantillons prélevés jusqu'à de grandes profondeurs (forages correspondant aux profils n° 3, 4, 5, 11 et 12) montrent que les fortes teneurs en acide phosphorique se rencontrent dans le premier metre du sol alors que son taux est extrêmement faible en profondeur. Cette richesse en acide phosphorique n'est donc pas liée à la constitution de la roche-mère mais provient d'un apport humain (compost et fumier autrefois; abus des fumures minérales phosphatées de nos jours).

Les teneurs en cations échangeables sont faibles, surtout pour le potassium qui est un élément consommé en quantités importantes par la vigne. On notera cependant que leurs proportions respectives sont, en moyenne, satisfaisantes et permettent d'espérer une alimentation minérale convenable de la vigne. En surface et en profondeur, leurs pourcentages par rapport à la capacité totale d'échange sont respectivement de : 4,0 et 3,7 % de T pour le potassium, 8,4 et 9,5 % de T pour le magnésium et 79,7 et 72,2 % pour le calcium.

En ce qui concerne l'alimentation minérale de la vigne, les résultats analytiques bruts n'ont pas une grande signification. Ce qui importe avant tout, c'est la quantité totale d'éléments assimilables se trouvant à la disposition des racines. Or, nous avons vu que les racines explorent un grand volume de sol et que la roche-mère est capable de leur fournir des éléments assimilables. On peut constater sur les tableaux V et VI (profils n°4 et 5) que les teneurs en cations échangeables peuvent être plus importantes en profondeur (par exemple de -350 à -510 cm pour le profil n°5 et -170 à -270 cm pour le profil n°4) que dans les premiers centimètres du sol.

Remarque

Nous verrons dans la deuxième partie que ces niveaux correspondent à la zone de fluctuation des nappes phréatiques. On peut donc supposer que les nappes phréatiques qui ont des teneurs non négligeables en éléments minéraux (en moyenne : K = 0,26 meq/l ; Na = 0,58 meq/l ; Mg = 0,45 meq/l ; Ca = 0,47 meq/l) peuvent réapprovisionner saisonnièrement le complexe absorbant en cations échangeables et participer ainsi (mais d'une manière indirecte) à la nutrition minérale de la vigne en même temps qu'elles contribuent à son alimentation en eau.

Pour les profils qui ont été analysés jusqu'à la limite inférieure de l'enracinement, il est possible de déterminer les quantités totales d'éléments nutritifs se trouvant dans la tranche de sol exploitée par les racines (il faut cependant souligner que la totalité de ces éléments n'est pas disponible pour les racines dans la mesure où certains volumes du sol ne sont pas colonisés). Pour faire ces calculs, il faut bien entendu tenir compte du pourcentage de cailloux (qui ne contiennent pas d'éléments directement assimilables), de la densité apparente du sol (elle a été déterminée sur mottes par immersion dans le mercure : à cause des proportions importantes de cailloux siliceux, elle varie de 1,8 à 2), et de la profondeur d'enracinement (tableau XXI).

Pour les profils 4 et 5, les teneurs totales en azote sont faibles, la plus grande partie étant localisée dans les premiers centimètres du sol. Les teneurs totales en potassium et acide phosphorique sont importantes. Par contre, les teneurs en calcium et surtout en magnésium sont extrêmement faibles. Le rapport K/Mg (exprimés en équivalents qui devrait être inférieur à 1 est d'environ 3 pour le profil n°5 et d'environ 4 pour le profil n°4 ce qui entraîne un phénomène d'antagonisme et une mauvaise assimilation du magnésium. D'autre part, étant donné la réaction très nettement acide du sol, le pH est peu favorable à une bonne assimilation des cations échangeables.

Malgré des réserves importantes en éléments minéraux assimilables, l'alimentation de la vigne se fait dans de mauvaises conditions : le pH trop bas, l'antagonisme du potassium à l'égard du magnésium et les faibles teneurs en azote et en calcium jouent le rôle de facteurs limitants. On comprend ainsi que ces sols portent une vigne peu vigoureuse et que les rendements y soient faibles.

N° de sol et profondeur xploitée par les racines		N	K_2O	Na_2O	MgO	CaO	P_2O_5
PROFIL N° 5 (510 cm)	kg	0,42	0,71	0,32	0,10	0,30	0,73
	éq.		15,1	10,1	4,7	32,1	
PROFIL N° 4 (270 cm)	kg	0,41	0,43	0,13	0,05	0,54	0,47
	éq.		9,2	4,2	2,4	19,4	
PROFIL N° 3 (100 cm)	kg	0,10	0,15	0,05	0,09	2,17	0,50
	éq.		3,2	2,6	4,4	77,5	
PROFIL N° 11 (230 cm)	kg	0,91	0,27	0,17	0,13	2,90	0,78
	éq.		5,7	5,4	6,5	103,7	
PROFIL N° 12 (170 cm)	kg	1,05	0,18	0,15	0,14	2,44	0,95
	éq.		3,9	4,8	5,7	87,2	

TABLEAU XXI - QUANTITES TOTALES D'ELEMENTS NUTRITIFS SE TROUVANT DANS LA ZONE EXPLOITEE PAR LES RACINES

Les résultats sont exprimés en kg et en équivalents par mètre carré de sol sur toute la hauteur exploitée par les racines. Si, par extrapolation, on veut calculer les teneurs par hectare, il faut multiplier ces résultats par 10 000.

Pour les profils n°3, 11 et 12, malgré des profondeurs moindres, les quantités de magnésium et surtout de calcium sont plus fortes. Les rapports K/Mg (exprimés en équivalents) sont inférieurs à 1 : les risques d'antagonisme sont donc limités. Le potassium peut sembler en quantitésinsuffisantes si l'on compare ces sols aux profils n°4 et 5 ; en fait, les rapports 100 K/Ca (exprimés en équivalents) sont supérieurs à 4 : ils indiquent une bonne alimentation en potassium (STRASMAN et al. ,I958)

Il s'agit donc de sols proches de la neutralité, assez riches en azote, bien pourvus en acide phosphorique, où les cations échangeables, en quantité suffisante, ont une répartition satisfaisante. L'alimentation minérale de la vigne se fait dans de bonnes conditions : les ceps sont vigoureux et les rendements supérieurs de 40 à 80 % à ceux obtenus sur les sols n° 4 et 5.

On peut dire,en conclusion,que la pauvreté minérale des sols médocains est, dans la plupart des cas, une légende. Par contre, la pauvreté en matière organique et par conséquent en azote est bien réelle car la matière organique n'est localisée que dans les couches superficielles du sol. Au point de vue alimentation de la vigne, c'est souvent l'azote et, dans certains cas , les antagonismes d'ions, la pauvreté en calcium et en magnésium ainsi que les pH trop bas qui jouent le rôle de facteurs limitants si bien que le sol se comporte comme s'il était pauvre en tous éléments. La diminution de vigueur des ceps qui en résulte permet d'obtenir une production faible, généralement liée à une haute qualité. Dans les sols riches, les rendements sont élevés mais les vins produits sont souvent médiocres. Tout se passe comme si l'ensemble des facteurs climatiques était capable d'élaborer une quantité déterminée d'arômes et d'éléments sapides, ces substances se diluant et se dégradant lorsqu'on augmente les rendements.

En outre, la pauvreté relative des horizons superficiels favorise l'extension en profondeur des racines alors que celles-ci restent localisées dans les couches de subsurface lorsqu'elles sont riches en éléments assimilables. Nous verrons dans la deuxième partie tout l'intérêt que présente cet enracinement profond en ce qui concerne la régularité de l'alimentation en eau de la vigne. Cet enracinement profond est également un caractère intéressant lorsqu'on sait (DELAS et al. , I959) que le cuivre provenant des traitements anticryptogamiques s'accumule dans les horizons de surface où il peut devenir toxique lorsque le pH est trop bas.

6. CONCRETIONNEMENTS FERRIQUES -

L'alios classique des podzols se forme, sous nos climats, dans des sols déjà lessivés portant une végétation acidifiante (résineux, bruyères) qui permet la formation d'un humus de type Mor à rapport C/N élevé. Ces alios sont généralement riches en fer et en matière organique.

L'alios du profil n°13 (-35 -60cm) présente les caractères analytiques assez typiques d'un horizon B de podzol. Il est riche en matière organique (C = 1,81 %) et en fer (fer libre = 1,38 %, fer S.A. = 1,75 %); son rapport C/N est voisin de 25. Les teneurs en carbone des acides fulviques et humiques sont respectivement de 0,86 % et 0,22 %. Le taux d'humification est donc élevé (60 %) mais avec une forte prédominance des acides peu polymérisés (AF/AH = 3,9).

On rencontre généralement des alios typiques lorsque les sols de vignobles ont été gagnés sur la forêt voisine de pins maritimes (la podzolisation ayant eu lieu sous ce type de végétation). Mais ces cas sont relativement rares dans les grands crus du Médoc et le terme d'alios qui est fréquemment employé par les viticulteurs et que l'on rencontre dans de nombreux ouvrages consacrés à la viticulture, recouvre, sous une appellation commune, des formations de couleur rouille plus ou moins foncé mais de natures diverses (SEGUIN, 1965).

En Médoc, dans la plupart des cas, ce sont des concrétionnements ferriques de couleur rouille pouvant encore s'effriter sous une forte pression des doigts et qui ne deviennent vraiment durs qu'après séchage à l'air. Un de leurs caractères essentiels est leur extrême pauvreté en matière organique qui les distingue des alios typiques et permet de penser qu'ils se sont formés selon des processus autres que ceux de la podzolisation. D'ailleurs, les rapports C/N des horizons superficiels ne sont jamais supérieurs à 15.

On les rencontre généralement dans la zone de fluctuation des nappes phréatiques. On peut donc penser qu'ils se sont formés à la suite des alternances saisonnières d'humectation et de dessication qui permettent la précipitation, sous forme ferrique, du fer dissous dans l'eau de la nappe phréatique. D'ailleurs, leur étude dans les carrières montre la relation entre le niveau du concrétionnement et la profondeur de la nappe phréatique. On observe également, qu'au sein d'une zone de concrétionnement, les dépôts ferriques sont plus abondants dans les couches à granulométrie grossière qui sont mieux aérées en été après l'abaissement du niveau de la nappe phréatique (en raison du pendage des couches, ces zones à granulométrie grossière ont une direction en oblique par rapport à l'horizontale et apparaissent très nettement).

Remarque

On peut constater que, lorsque la nappe phréatique est profonde, les précipitations ferriques sont nulles ou très réduites par suite d'une mauvaise oxygénation des couches profondes du sol.

Parmi les caractères analytiques de ces concrétionnement ferriques (Margaux, Soussans, Saint-Julien), on peut noter leur faible teneur en matière organique ($C < 0,20$ %), leur richesse relative en fer (fer libre = 1,2 à 1,8 % ; fer SA = 1,6 à 3 %) et leur pH qui varie suivant les cas de 4,5 à 6,7 (SEGUIN, 1965 et résultats non publiés).

L'étude de profils, de carrières ou de forages, montre que lorsque les racines rencontrent un concrétionnement ferrique en masse (appelé improprement "alios" dans le Bordelais viticole), elles se ramifient et s'étalent à sa limite supérieure mais sans y pénétrer et semblent définitivement arrêtées. Si l'on continue à forer au-dessous de l'"alios", on retrouve des racines nombreuses et de toutes dimensions car, contrairement à ce que l'on croit souvent, l'"alios" forme rarement un banc continu ce qui permet aux racines de le contourner. Même lorsqu'il s'agit de concrétionnements très durs et très riches en fer (de 17 à 33 % de fer S.A.) de type "garluche" que l'on rencontre dans les Graves, le Sauternais, les Premières Côtes de Bordeaux et l'Entre-Deux-Mers (SEGUIN, 1965), ces concrétionnements ne sont pas continus et ne limitent pas l'enfoncement des racines. Ils ne peuvent donc pas, comme le prétendent certains auteurs, empêcher le drainage de l'eau et provoquer l'engorgement des couches superficielles du sol. A la lumière des explications précédentes et dans le cas des concrétionnements ferriques en cours de formation, on peut dire que, si l'on observe un excès d'eau dans le sol ce n'est pas parce que l'"alios" empêche son drainage ; bien au contraire, l'"alios" se forme parce qu'il existe un plan d'eau proche de la surface.

La présence d'"alios" ou, pour employer un terme correspondant mieux à la réalité, la présence d'un concrétionnement ferrique dans le sol, a toujours été considérée comme un facteur de qualité. La plupart des grands crus du Médoc, des Graves et parfois de Saint-Emilion possèdent, au moins sur une partie de la propriété, un type de sol présentant un concrétionnement ferrique en profondeur. Il est peu vraisemblable que l' "alios" soit par lui-même un facteur favorable à la qualité du vin car, dans la plupart des cas, il n'est pas exploité par les radicelles ; mais il semble bien, comme nous le verrons dans la deuxième partie, que les conditions déterminant la formation des alios médocains (abaissement du niveau de la nappe phréatique au cours de l'été), correspondent à un régime de l'eau particulièrement favorable à la production d'un vin de qualité.

7. HETEROGENEITE DES SOLS A L'INTERIEUR D'UN MÊME CRU -

Alors que dans beaucoup de régions viticoles le sol est relativement homogène et que les raisins produits par chaque cépage sont vendangés et vinifiés séparément, dans la région bordelaise les vins des grands crus résultent, le plus souvent, du mélange de plusieurs cépages cultivés sur différents types de sols. Dans la région médocaine, on rencontre généralement dans un même cru des sols lessivés, certains possédant en profondeur un concrétionnement ferrique et des sols plus ou moins argileux. Les deux premiers types se rencontrent à peu près partout mais, souvent, le type argileux n'existe pas naturellement dans les limites d'un cru déterminé. Or, on peut constater dans ce cas, qu'une partie du vignoble a été enrichie en argile par d'importants apports de marnes, de manière à reconstituer artificiellement un sol que la nature ne lui avait pas donné. Ce mélange de vins provenant de plusieurs cépages cultivés sur différents types de sols atténue les défauts de chacun en exaltant ses qualités.

KUHNHOLTZ-LORDAT (1953) avait souligné l'importance de cette hétérogénéité "Je rappelle que le vignoble du Château d'Yquem (Sauternes) est assis sur des terres d'origine et de constitution diverses où l'argile, le sable, les graves varient dans des proportions considérables, avec tout ce que cela représente d'hétérogénéité dans leur constitution chimique. Le vin ne serait plus d'Yquem s'il ne provenait pas de ce milieu hétérogène, en cette place où se superposent encore les facteurs atmosphériques également complexes. C'est pour cela que les grands crus sont voués à l'indivision...".

DEUXIEME PARTIE

ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE

DANS LES SOLS DU HAUT-MEDOC VITICOLE

Deuxième Partie

ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE DANS LES SOLS DU HAUT-MEDOC VITICOLE

Dans les grandes régions viticoles à climat tempéré, ce sont les étés peu humides qui permettent d'obtenir les meilleurs millésimes. L'alimentation en eau de la vigne doit donc avoir un rôle primordial dans la maturation du raisin mais, faute d'une technique suffisamment précise, on ne pouvait pas étudier sérieusement ce problème. A cause de la grande profondeur du système radiculaire de la vigne, il était impossible, par la méthode des prélèvements à la tarière, de mesurer les variations de l'humidité du sol dans toute la zone exploitée par les racines. L'emploi d'un humidimètre à neutrons permet de suivre régulièrement l'évolution des profils hydriques jusqu'à de très grandes profondeurs.

I - TECHNIQUES d'ETUDES ET SOLS ETUDIES

1. ETUDE DE PROFILS HYDRIQUES : L'HUMIDIMETRE à NEUTRONS

A l'intérieur d'un tube en acier inoxydable placé en permanence dans le sol, on enfonce une sonde contenant une source de neutrons (Americium-Beryllium) qui envoie dans le milieu étudié un nombre constant de neutrons rapides. Ces neutrons sont ralentis, jusqu'à l'agitation thermique (neutrons thermiques), par chocs successifs sur les noyaux des différents atomes qu'ils rencontrent. De tous les atomes, c'est l'Hydrogène qui, à cause de la faible masse de son noyau , présente le plus fort coefficient de ralentissement. C'est également l'hydrogène qui possède la plus grande section efficace de diffusion élastique, c'est-à-dire qu'un neutron a plus de chances de rencontrer un atome d'hydrogène que tout autre atome (cette section efficace est exprimée en barn = $10^{-24} cm^2$)

Le ralentissement provoqué par les autres atomes contenus dans le sol (Si, Fe, Al, Ca, Mg, K, Na, etc) peut être considéré comme négligeable devant celui qui est dû à l'hydrogène. Or, si l'on excepte les horizons humifères, c'est l'eau qui, dans le sol, est la principale source d'hydrogène. On peut donc considérer que le flux de neutrons thermiques est proportionnel à l'humidité volumique (Hv) du sol, c'est-à-dire, à la quantité d'eau contenue dans l'unité de volume du sol en place (on passe des valeurs de l'humidité volumique à celles de l'humidité pondérale en divisant la première par la densité apparente du sol sec). Les neutrons thermiques sont captés par un détecteur au trifluorure de bore. Ce détecteur transmet l'information à une échelle de comptage sur laquelle on lit le nombre de neutrons thermiques captés pendant un temps déterminé. On en déduit le nombre d'impulsions par seconde dans le milieu étudié. Afin d'éliminer les légères variations venant de l'appareil, on n'utilise pas directement cette valeur pour calculer l'humidité mais le rapport :

$$K = \frac{\text{nombre d'impulsions par seconde dans le milieu}}{\text{nombre d'impulsions par seconde dans l'étui}} .$$

Dans son étui, la sonde est entourée d'un bloc de protection en polyéthylène qui thermalise les neutrons. Comme la sonde est verrouillée toujours dans la même position, la mesure faite dans l'étui sert de mesure de référence. La valeur de K reportée sur une courbe d'étalonnage permet de déterminer l'humidité du sol. (ANDRIEUX et al., I962 ; MAERTENS et al.,I965). Dans l'avenir, il serait préférable d'utiliser pour les calculs non la valeur K définie plus haut mais la valeur

$$R = \frac{\text{nombre d'impulsions par seconde dans le milieu}}{\text{nombre d'impulsions par seconde dans l'eau}} ,$$

qui est beaucoup plus précise. Un réflecteur de neutrons en polyéthylène permet d'effectuer des mesures jusqu'à 10 cm de la surface (MOUTONNET et al., I967).

Les caractéristiques de l'appareil utilisé sont les suivantes : référence étui = 118 impulsions par seconde ; référence dans l'eau = 515 impulsions par seconde (en utilisant, comme dans le sol, un tube en acier inoxydable).

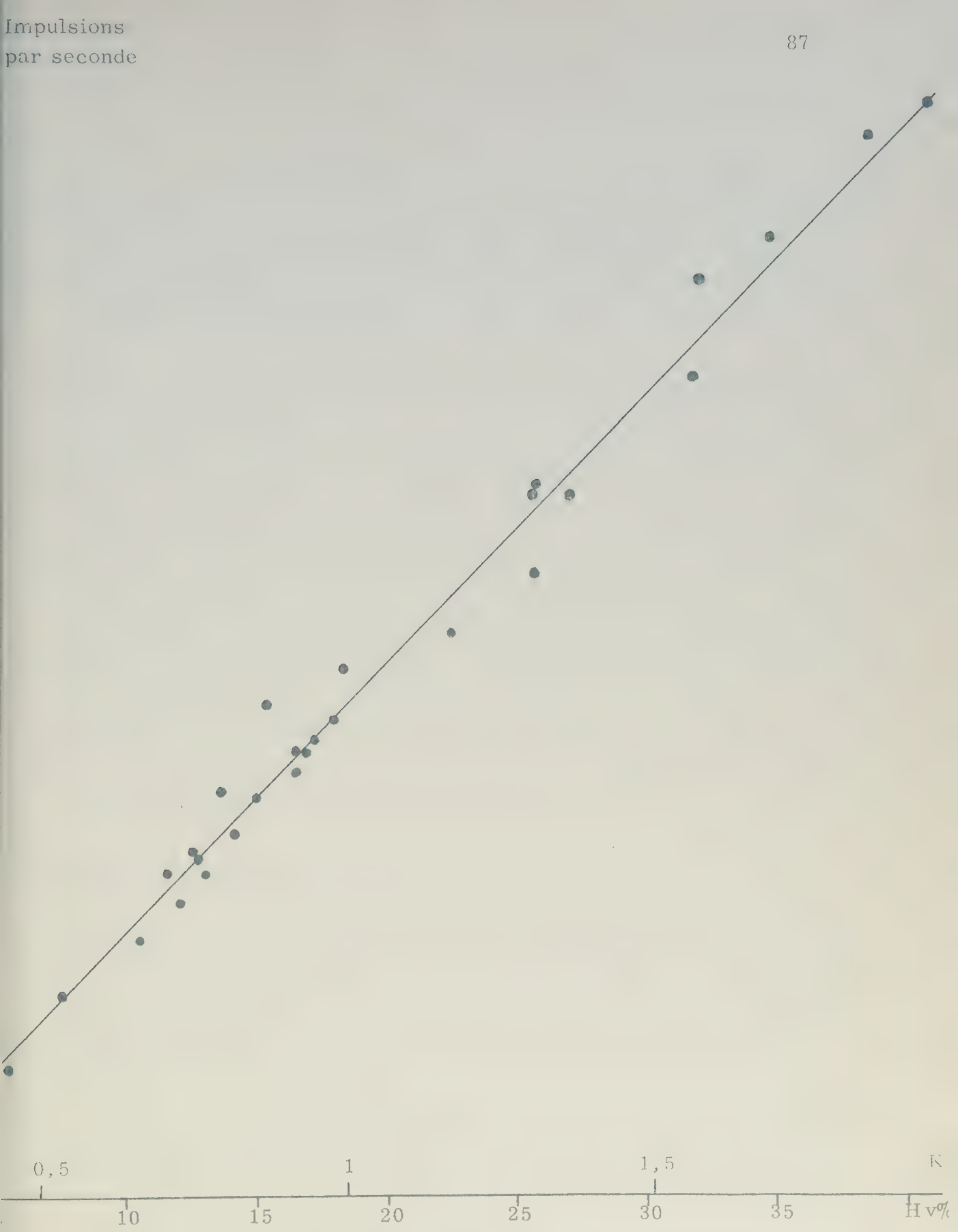

Fig. 7 - COURBE EXPERIMENTALE D'ETALONNAGE DE L'HUMIDIMETRE A NEUTRONS

Le tubage utilisé est en acier inoxydable.

Cet appareil présente de nombreux avantages : il permet de mesurer l'humidité directement sur le sol en place, très rapidement, aussi fréquemment qu'on le désire, toujours aux mêmes niveaux et sans aucune perturbation du sol et du système radiculaire des végétaux. Comme les résultats sont exprimés en humidité volumique, il est possible d'établir directement des bilans hydriques sans qu'il soit nécessaire de connaître la densité apparente du sol en place.

Un des principaux inconvénients de cet appareil vient des difficultés que présente l'établissement des courbes d'étalonnage dans les couches profondes du sol. Les courbes d'étalonnage utilisées (Fig. 7) ont été déterminées sur des horizons superficiels (40-50cm) ayant une texture voisine de celle des couches profondes du sol. Les valeurs de l'humidité volumique comportent donc une certaine imprécision. Sur les schémas représentant les profils hydriques, on trouvera en abscisses, à côté des valeurs de l'humidité volumique dont la précision pourra être améliorée par la suite, les valeurs de K qui, elles, sont définitives. En ce qui concerne les valeurs de l'évapotranspiration réelle, déterminées à l'aide des profils hydriques et des pluies, on peut estimer que l'erreur relative maximale est inférieure à 5 %. Cet appareil donne donc d'excellents résultats en ce qui concerne l'étude qualitative de l'alimentation en eau de la vigne (zones d'alimentation, évolution de la teneur en eau d'un même sol, profondeur et vitesse d'infiltration des eaux de pluie, etc.). Il permet en outre d'estimer les valeurs de l'évapotranspiration réelle, avec une précision très nettement supérieure à celle que l'on pourrait obtenir par des prélèvements à la tarière .

2. ETUDE DU REGIME DE L'EAU

Dans les sols à étudier, des forages ont été faits à la tarière de 200 mm, ce qui a permis de prélever des échantillons en vue d'une analyse physico-chimique et de noter la présence ou l'absence de racines dans les différentes zones du sol. Ces forages ont été tubés afin de suivre les variations du niveau de la nappe phréatique. A côté de ces forages, les tubes en acier inoxydable destinés à recevoir la sonde à neutrons ont été mis en place.

Les profils hydriques ont été relevés régulièrement pendant la période active du cycle végétatif de la vigne, environ tous les mois du débourrement à la véraison, plus fréquemment de la véraison à

la maturité (toutes les semaines ou tous les 15 jours). Pour éviter de surcharger les schémas, seuls les profils hydriques les plus caractéristiques (notamment ceux qui correspondent à la demi-véraison et à la maturité du raisin) ont été reproduits.

3. ETUDE DU MICROCLIMAT

Des stations microclimatiques ont été installées dans les crus étudiés. Il a été ainsi possible de connaître la température, l'hygrométrie et la pluviosité locales.

4. ETUDE DE LA MATURATION DU RAISIN

Parallèlement à l'étude des profils hydriques, l'évolution de la maturation du raisin a été suivie (prélèvement de fragments de grappes sur les 30 ceps situés aux alentours immédiats des tubes de mesure). L'acidité totale (méthode au bleu de bromothymol), les teneurs en sucres (méthode Bertrand), en acide tartrique (méthode au racémate), en acide malique (dosage microbiologique) et l'alcalinité des cendres ont été déterminées sur les jus de raisins.

Remarque :

L'alimentation en eau de la vigne et la maturation du raisin ont été étudiées en I966, I967, I968 et I969. Comme les conditions climatiques de I969 ont été assez semblables à celles de l'été I968, le régime de l'eau et la maturation du raisin ont présenté des caractéristiques assez semblables au cours de ces deux années. Le cas de I969 ne sera donc pas étudié d'une manière détaillée.

5. SOLS ETUDIES

Parmi les sols dont nous avons suivi l'évolution des profils hydriques, nous en avons choisi quatre qui diffèrent essentiellement par leurs profondeur d'enracinement. On trouvera les analyses physico-chimiques correspondant à ces quatre sols dans la première partie de cette étude.

Les sols A (profil n°5), B (profil n°4) et C (profil n°3) sont situés sur une même croupe de la région de Margaux (commune de Cantenac) et le sol D (profil n°12) sur la croupe de Saint-Julien.

Nous rappelons que :

Le sol A est situé près du sommet de la croupe, à une altitude de 18 mètres. Le soubassement tertiaire est à une profondeur de 11mètres (le forage a été poursuivi jusqu'à cette profondeur). Des racines ont été observées avec certitude jusqu'à - 400 cm mais il est vraisemblable qu'elles atteignent une profondeur de 500 cm.

Le sol B se trouve à proximité du sol A mais sur une pente et en contrebas (altitude 15 mètres). Le soubassement tertiaire est à une profondeur de 7,9 mètres. Des racines ont été identifiées jusqu'à - 270 cm.

Le sol C est situé dans la partie la plus basse de la croupe (altitude 13 mètres), en bordure d'une petite jalle. Des racines ont été identifiées jusqu'à - 100 cm.

Le sol D est situé sur le plateau de Saint-Julien, à une altitude de 17 mètres. Le soubassement tertiaire est à une profondeur de 7,5 mètres. Des racines ont été identifiées jusqu'à - 160 cm L'étude de ce sol n'a été entreprise qu'en 1967, soit un an après celle des sols A, B et C.

L'encépagement de ces quatre sols est constitué par du Merlot noir.

II - REGIME DE L'EAU

1. VARIATIONS DU NIVEAU DES NAPPES PHREATIQUES

L'eau apportée par les pluies d'automne et d'hiver se rassemble pour former une nappe phréatique qui, par suite de la différenc de perméabilité entre les sables graveleux de surface et le soubassement tertiaire, s'établit au-dessus de ce dernier. Une partie des eaux de la nappe phréatique s'écoule vers la Gironde soit directement, soit par l'intermédiaire des jalles. Tant que les apports d'eau par les pluies sont supérieurs aux pertes (drainage vertical et latéral, évapotranspiration) le niveau de la nappe s'élève. Dès la fin de la période de forte pluviosité, l'alimentation de la nappe cesse et son niveau commence à s'abaisser.

La profondeur de la nappe phréatique par rapport à la surface du sol dépend de l'épaisseur de sables graveleux recouvrant le soubassement tertiaire, épaisseur qui varie suivant les points étudiés. Dans les bas-fonds séparant les croupes médocaines, la nappe est proche de la surface (souvent, elle affleure en hiver) tandis qu'elle est située à une profondeur parfois importante (plus de 5mètres) sur le sommet de certaines croupes.

A Cantenac et Saint-Julien, les variations du niveau des nappes phréatiques ont été suivies à l'aide de piézomètres (Fig. 8).

Au cours de l'hiver, le niveau de la nappe phréatique est plus ou moins élevé : en un point donné, il dépend de la profondeur du soubassement tertiaire et varie d'une année à l'autre en fonction de la pluviosité. Ce niveau s'abaisse progressivement au cours de l'été ; pour des conditions climatiques normales (la pluviosité des étés 1968 et 1969 a été exceptionnelle), il continue de s'abaisser jusqu'au début de l'automne.

On peut remarquer qu'à Saint-Julien où le sol est situé en bordure de la Gironde, l'amplitude des variations du niveau de la nappe phréatique est beaucoup plus grande qu'à Cantenac où les sols sont situés au bord d'une petite jalle.

L'évolution du niveau des nappes phréatiques a été également suivi en d'autres points du Médoc mais d'une façon moins précise, grâce à des puits. On peut considérer que, dans la région des grands crus médocains, le niveau supérieur de la nappe phréatique se situe à une profondeur de 1 à 4 mètres à la sortie de l'hiver lorsque

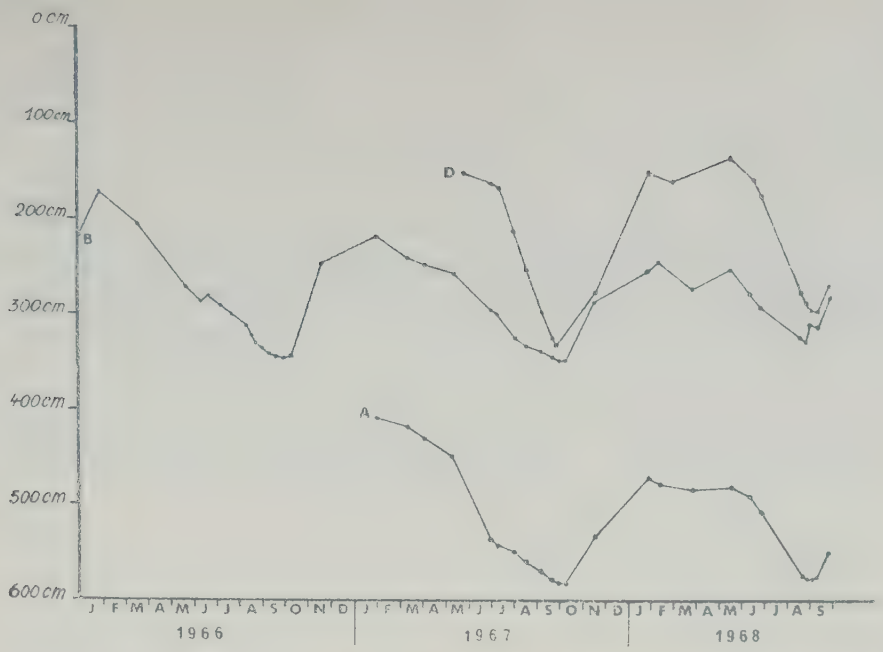

Fig. 8- VARIATIONS DU NIVEAU DES NAPPES PHREATIQUES EN 1966, 1967 et 1968

Pour les deux sols de Cantenac (A et B), il s'agit de la même nappe phréatique. La différence de niveau provient du fait que l'altitude du sol B est inférieure à celle du sol A. Le sol D est celui de Saint-Julien.

On remarque sur ce schéma que l'abaissement des nappes phréatiques se poursuit jusqu'au début de l'automne.

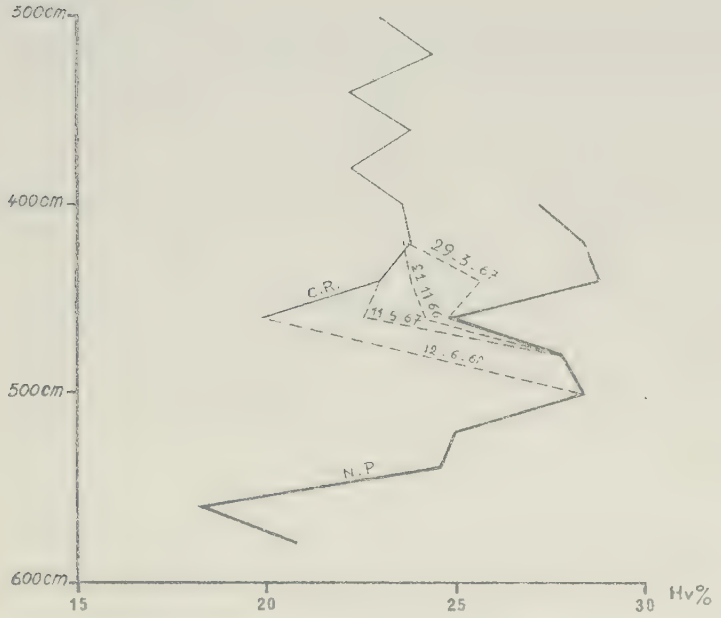

Fig. 9 - EPAISSEUR DE LA FRANGE CAPILLAIRE (sol A)

Les profils hydriques correspondant à la frange capillaire à différentes dates (représentés en tirets) se raccordent par leur partie inférieure au profil hydrique de la nappe phréatique (N. P.) et par leur partie supérieure au profil hydrique correspondant à la capacité de rétention (C. R.) les limites inférieures et supérieures de ces deux profils variant suivant les dates. La frange capillaire est comprise entre ces deux points.

commence la période de vie active de la vigne ; il descend à une profondeur de 2 à 5 mètres en juillet et à une profondeur de 3 à 6 mètres au début du mois d'octobre.

2. CAPACITE DE RETENTION ET EAU UTILE DU SOL

Grâce à l'humidimètre à neutrons, la capacité de rétention peut être déterminée directement sur le terrain. Après une période de fortes pluies ayant provoqué une très nette remontée du niveau des nappes phréatiques et par conséquent ayant humecté le sol sur toute sa hauteur, on laisse celui-ci se ressuyer pendant plusieurs jours en l'absence de nouveaux apports d'eau. La partie des profils hydriques située au-dessus de la frange de remontée des eaux de la nappe phréatique par capillarité correspond alors à la capacité de rétention. Plusieurs mesures réalisées en hiver (période pendant laquelle l'évapotranspiration est négligeable) dans les conditions indiquées ci-dessus ont montré que, pour un sol déterminé, on retrouvait toujours le même profil hydrique. Le profil hydrique représentant la capacité de rétention a été reproduit sur chacun des schémas correspondant aux années I966, I967 et I968 : il servira de référence pour comparer l'état d'humidité du sol au cours de ces trois années. On notera que, dans ces sols à texture grossière, les valeurs moyennes de la capacité de rétention (exprimées en humidité volumique, donc environ deux fois plus fortes que si elles étaient exprimées en humidité pondérale) sont extrêmement faibles, de l'ordre de 10 à 20 % Hv. Les réserves en eau utile semblent donc très limitées. Si l'on tient compte du volume de sol exploité par les racines, les quantités d'eau disponibles pour la vigne sont, dans le cas d'un enracinement profond, beaucoup plus importantes que ce qu'une étude superficielle du sol permettrait d'imaginer. Elles sont cependant insuffisantes pour assurer une bonne alimentation en eau de la vigne au cours d'une longue période de sécheresse qui est susceptible, dans certains cas, d'amener la teneur en eau du profil au voisinage du point de flétrissement permanent.

Remarque

Les circonstances permettant de déterminer la capacité de rétention (forte pluviosité suivie d'au moins 10 jours sans pluie) sont assez rares au cours de l'hiver. Lorsqu'elles surviennent, il arrive que la nappe phréatique soit déjà proche de la surface : il n'est plus possible de déterminer la capacité de rétention dans les couches profondes du sol (ce fut le cas pour le sol D).

3. EPAISSEUR DE LA FRANGE CAPILLAIRE

Il est intéressant, nous le verrons par la suite, de déterminer l'épaisseur de la frange de remontée par capillarité de l'eau de la nappe phréatique. L'étude de plusieurs profils hydriques permet de déterminer cette épaisseur avec précision. Les différents profils hydriques (correspondant au sol A) représentés sur la figure 9 se raccordent par leur partie inférieure au profil de la nappe phréatique et par leur partie supérieure au profil correspondant à la capacité de rétention. La frange capillaire est comprise entre ces deux points. Dans ce sol, à texture gravelo-sableuse, elle a une épaisseur de 40 cm ; dans les sols B et D, son épaisseur est de l'ordre de 40 à 50 cm.

Remarque

A première vue, il peut paraître étonnant que les teneurs en eau au sein de la nappe phréatique ne dépassent pas 30 %. Il faut se souvenir que l'on mesure le volume d'eau contenu dans l'unité de volume de sol en place. Or, les seuls cailloux occupent un volume important (on peut voir sur le tableau VI qu'entre 4 et 5 mètres, dans le sol A, les cailloux représentent, en poids, environ 40 %). En tenant compte également du volume réel de la terre fine, on comprend que le volume des vides susceptibles d'être occupés par l'eau ne dépasse pas 30 % et varie suivant les pourcentages de cailloux et le tassement de la terre fine.

4. REPARTITION DES EAUX DE PLUIE DANS LE SOL AU COURS de l'ETE

Lorsque la chute de pluie est très faible (2 à 3 mm), seule la couche superficielle du sol est imprégnée. L'eau disparait très rapidement par évaporation.

Lorsqu'elle est plus importante, l'eau pénètre plus profondément dans le sol et diffuse vers les couches inférieures plus sèches (par différence de potentiel capillaire). Il s'établit un profil hydrique où la teneur en eau est inférieure à la capacité de rétention (par exemple : au début du mois de septembre 1966).

Très souvent, lorsque les précipitations sont particulièrement abondantes, le profil qui tend à s'établir est voisin de celui correspondant à la capacité de rétention. Grâce à la forte perméabilité des sols A et B où la texture grossière permet un drainage rapide, les

eaux de pluie s'infiltrent rapidement et profondément sans créer de saturation. Les profils hydriques relevés le 3 octobre I966 (Fig. 10 et 13) après 5 jours de pluie (45 mm) et 24 heures seulement après la dernière chute montrent que la teneur en eau du sol est voisine de la capacité de rétention sur une profondeur de 180 à 140 cm.

Il est intéressant de savoir ce qui se produit lorsqu' une forte pluie tombe sur des sols dont la teneur en eau est déjà voisine de la capacité de rétention. Par suite de la forte pluviosité observée au cours de l'été I968, les profils hydriques des sols étudiés étaient très proches de la capacité de rétention les 2 (Fig. 12, 15 et 20) et 11 septembre. Après 12 jours de pluies au cours desquels il est tombé 154 mm à Cantenac et 105 mm à Saint-Julien, les profils hydriques ont été relevés le 24 septembre, moins de 24 heures après la dernière chute de pluie. On peut constater sur les figures 12, 15 et 20 que cette eau en excédent a traversé le sol très rapidement pour aller rejoindre les nappes phréatiques dont les niveaux ont remonté d'une trentaine de centimètres (Fig. 8). On a observé cependant des teneurs en eau très légèrement supérieures à la capacité de rétention, notamment en profondeur, mais il ne faut pas oublier que les mesures ont été faites moins de 24 heures après la dernière chute de pluie (on remarquera, sur le tableau XXII, que les écarts par rapport à la capacité de rétention sont plus faibles dans le première mètre du sol).

Nous avons effectué des études semblables sur d'autres sols du vignoble bordelais. On peut constater, par exemple sur des sols limono-argilo-sableux des Premières Côtes de Bordeaux qu'à la suite d'une forte pluie, les horizons superficiels restent engorgés pendant plusieurs jours.

		A	B	C	D
Moyenne sur l'ensemble du profil	Humidité du sol le 24 Sept.1968	19,9	12,8	25,8	13,8
	Capacité de rétention	19,7	11,4	-	-
	Ecarts	+ 0,2	+ 1,4	-	-
Moyenne sur le premier mètre	Humidité du sol le 24 Sept.1968	13,5	12,5	24,6	19,1
	Capacité de rétention	13,9	11,6	-	17,4
	Ecarts	- 0,4	+ 0,9	-	+ 1,7

TABLEAU XXII - HUMIDITE DES SOLS LE 24 SEPTEMBRE 1968 ET ECARTS AVEC L'HUMIDITE CORRESPONDANT A LA CAPACITE DE RETENTION.

Les résultats sont exprimés en humidité volumique %.
La capacité de rétention du sol D n'a pu être déterminée dans les couches profondes. Celle du sol C n'est pas connue avec suffisamment de précision.

LEGENDES DES FIGURES 10 à 20

C.R. = profil hydrique correspondant à la capacité de rétention

N.P. = profil hydrique correspondant à la nappe phréatique.

Ces deux profils sont caractéristiques du sol et ne dépendent pas d'une date déterminée.

Les quantités d'eau puisées dans le sol entre deux dates sont proportionnelles à la surface comprise entre les profils hydriques correspondant à ces deux dates. Pour déterminer l'évapotranspiration réelle, il faut en outre tenir compte de l'eau apportée par les pluies.

En général, les quantités d'eau consommées par la vigne sont supérieures à celles apportées par les pluies : le sol s'assèche progressivement et les profils hydriques sont de plus en plus déplacés vers la gauche. Lorsque les apports d'eau par les pluies sont supérieurs aux quantités absorbées par la vigne, la teneur en eau du sol augmente et les profils hydriques se déplacent vers la droite (ce fut le cas au cours de l'été 1968).

On remarquera sur ces schémas que la vigne absorbe de l'eau sur toute la hauteur de sol exploitée par les racines (de 1 à 5 mètres suivant les cas). On remarquera également que la vigne consomme de l'eau dans des zones qui, au cours de l'hiver, sont occupées par la nappe phréatique (sur la figure 13, on a indiqué dans la partie droite du schéma les profondeurs de la nappe phréatique à différentes dates).

On notera également les faibles variations de l'humidité du sol au-dessous de 500 cm (fig. 10 et 11) et de 270 cm (fig. 13 et 14) entre la véraison du raisin et le début des vendanges.

A la suite de précipitations importantes, le profil hydrique qui s'établit est voisin de celui correspondant à la capacité de rétention : le sol n'est jamais saturé (fig. 10 et 13 : profils hydriques du 3 octobre 1966 ; fig. 12, 15 et 20 : profils hydriques du 24 septembre 1968)

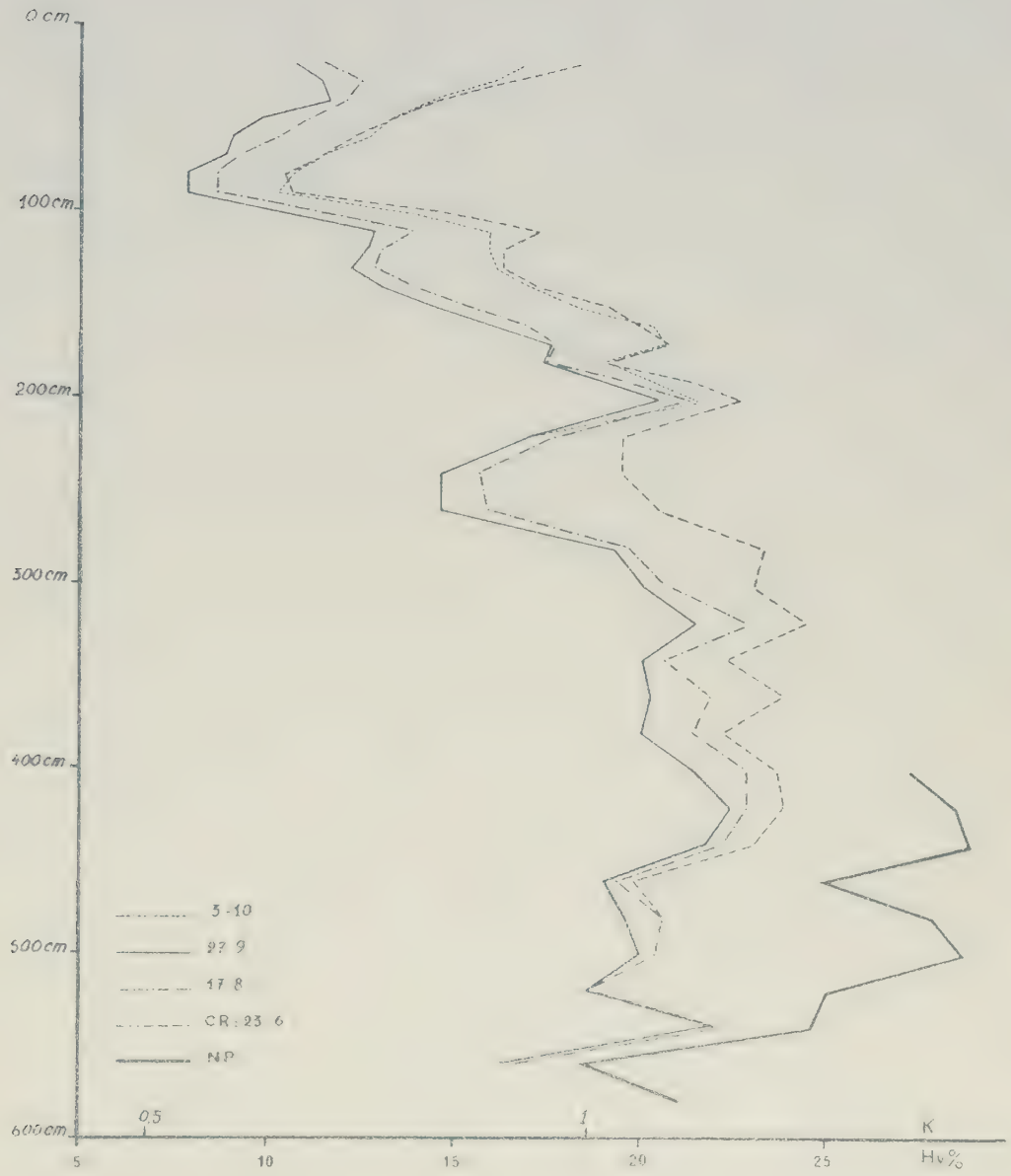

Fig. 10- PROFILS HYDRIQUES DU SOL A EN 1966

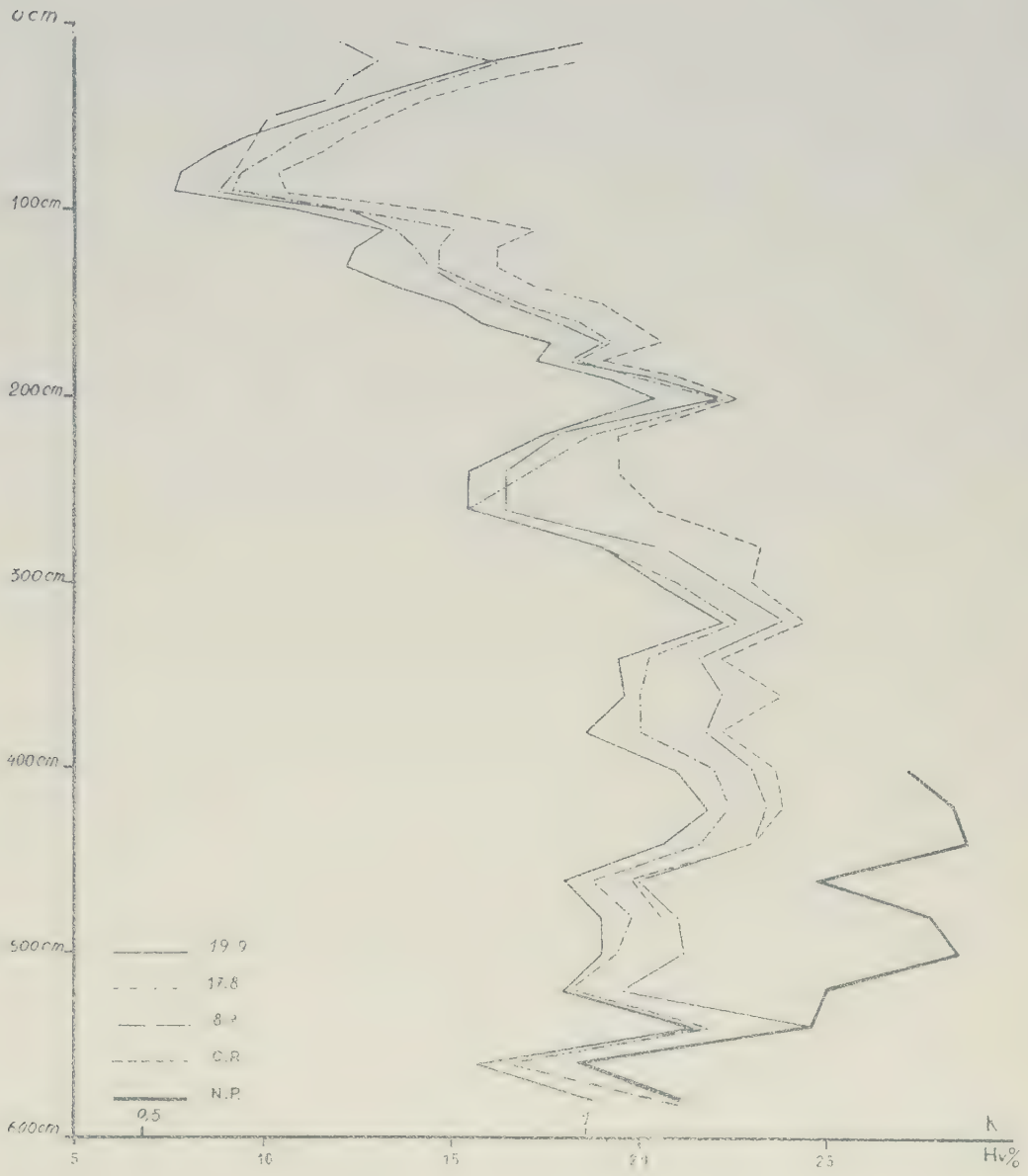

Fig. 11- PROFILS HYDRIQUES DU SOL A EN 1967

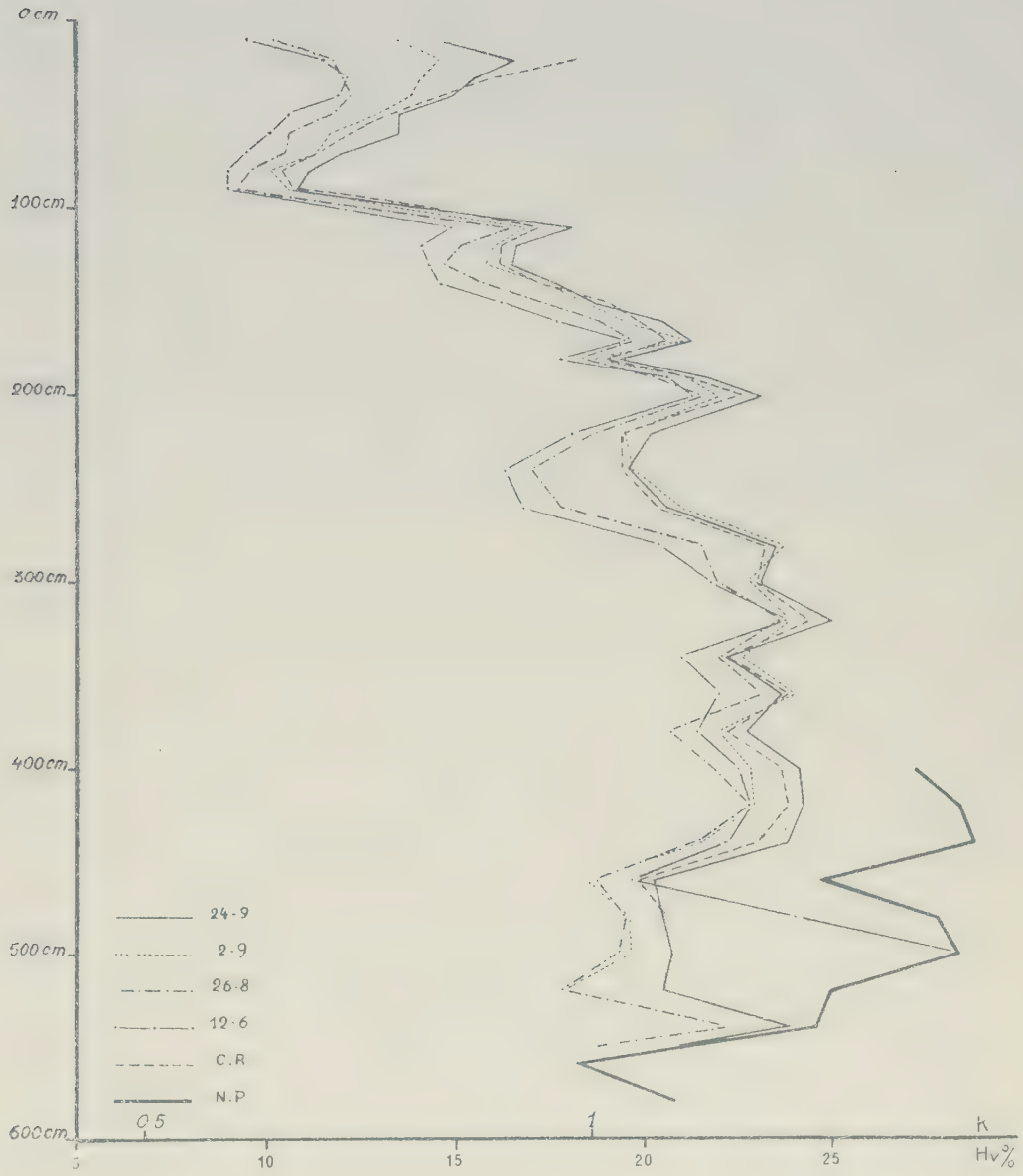

Fig. 12 - PROFILS HYDRIQUES DU SOL A EN 1968

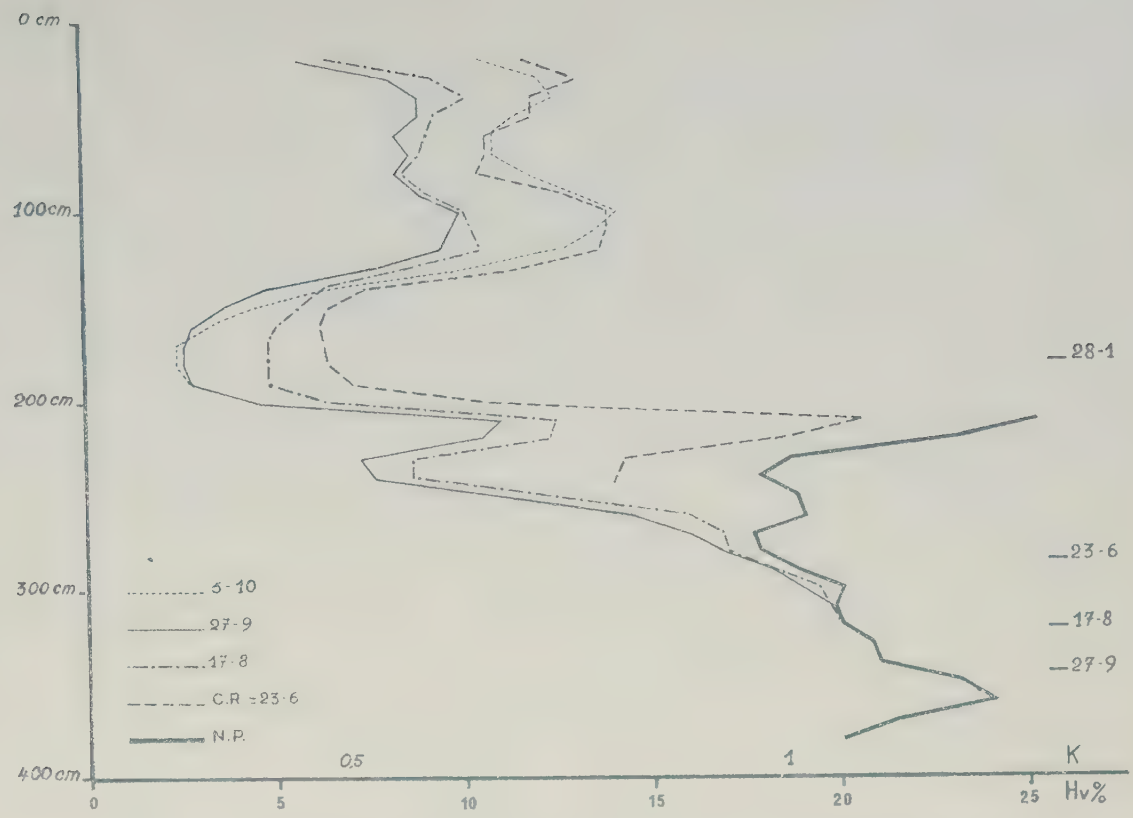

Fig. 13 - PROFILS HYDRIQUES DU SOL B EN 1966

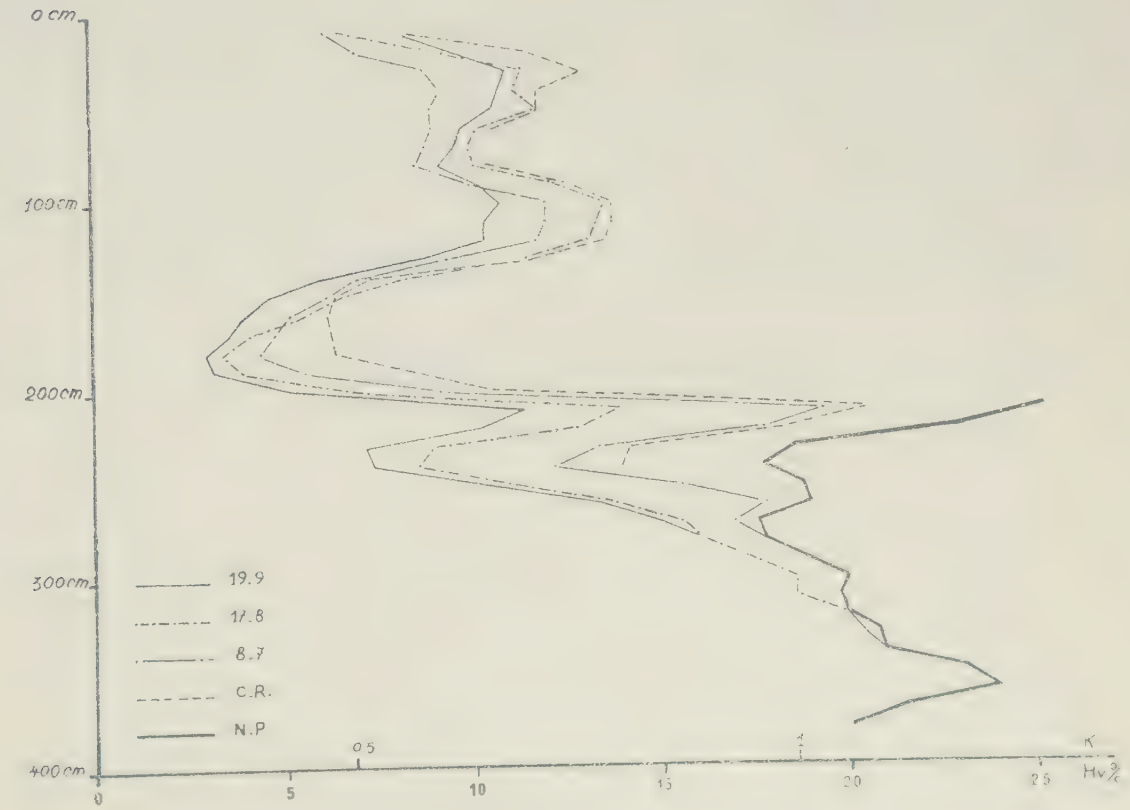

Fig. 14 - PROFILS HYDRIQUES DU SOL B EN 1967

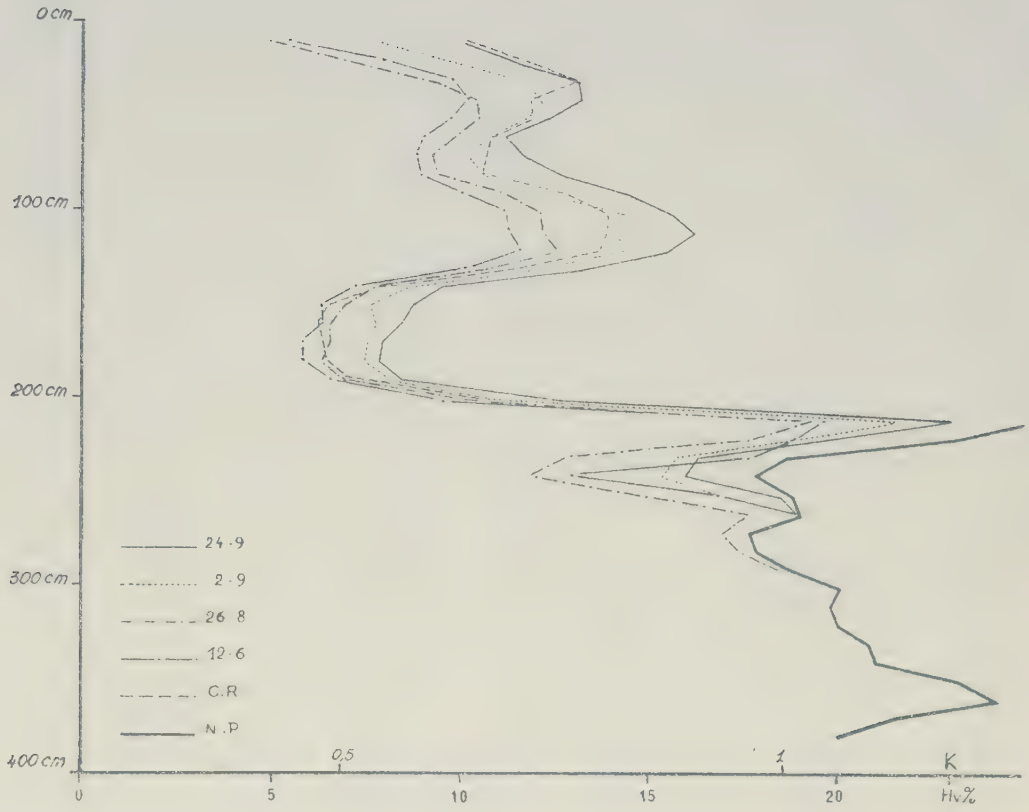

Fig. 15 - PROFILS HYDRIQUES DU SOL B EN 1968

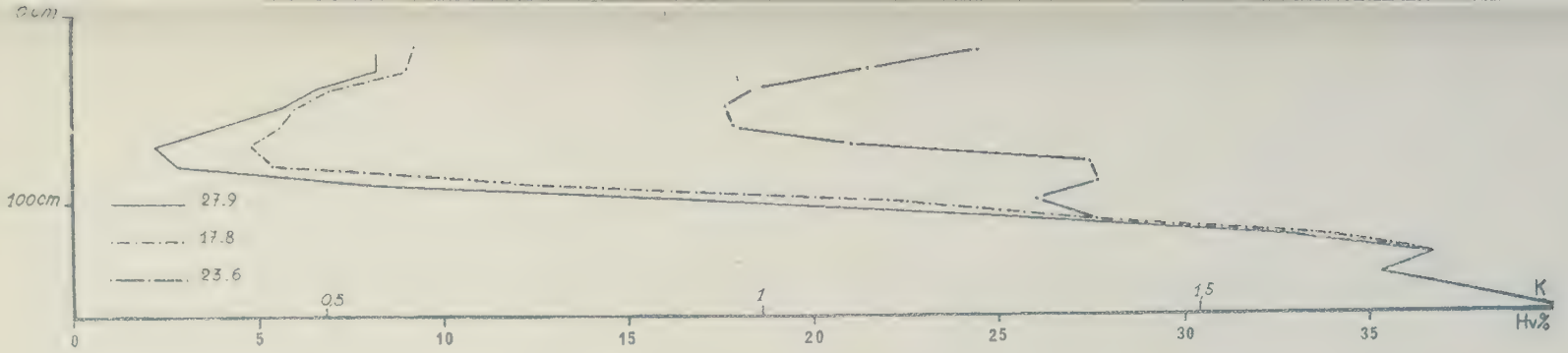

Fig. 16 - PROFILS HYDRIQUES DU SOL C EN 1966

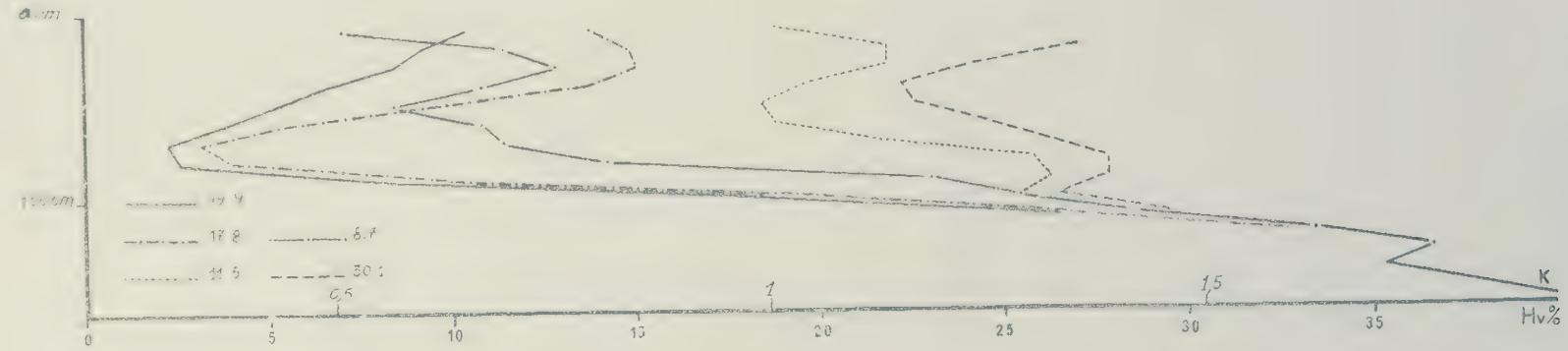

Fig. 17 - PROFILS HYDRIQUES DU SOL C EN 1967

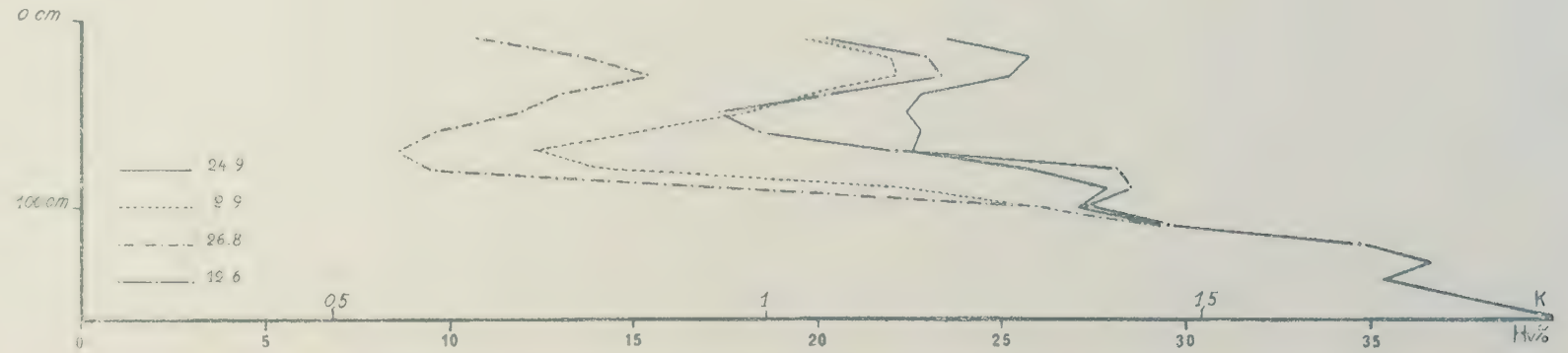

Fig. 18 - PROFILS HYDRIQUES DU SOL C EN 1968

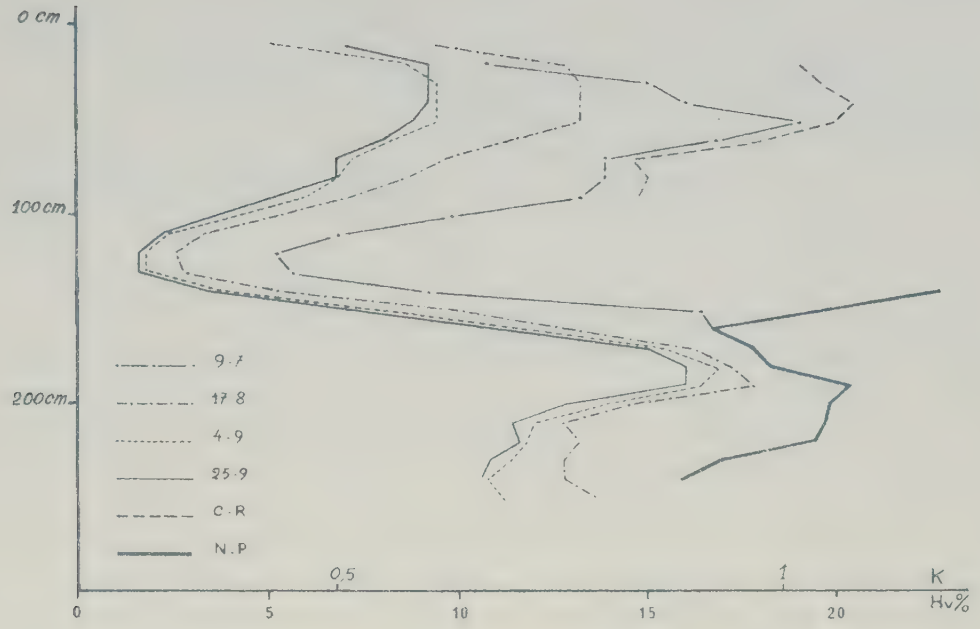

Fig. 19 - PROFILS HYDRIQUES DU SOL D EN 1967

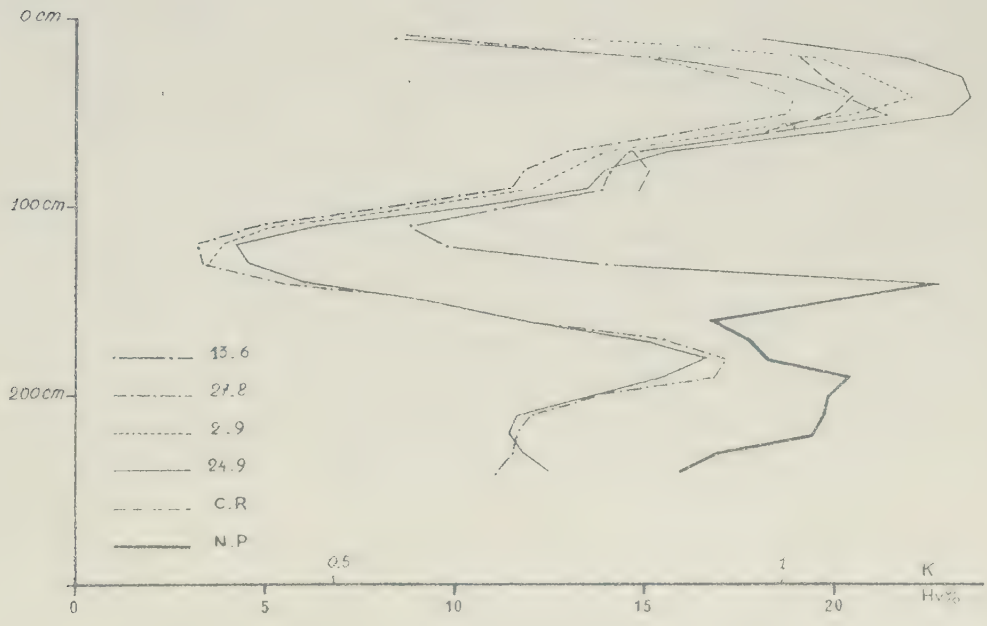

Fig. 20 - PROFILS HYDRIQUES DU SOL D EN 1968

III. ABSORPTION DE L'EAU PAR LA VIGNE

1. AVANT LA VERAISON DU RAISIN

A partir du printemps, le niveau des nappes phréatiques commence à s'abaisser. En comparant les profils hydriques successifs des sols A, B et D (Fig. 10, 11, 12, 13, 14, 15, 19 et 20), on remarque qu'au cours de l'été, la vigne consomme de l'eau dans des zones qui, durant l'hiver, sont occupées par la nappe phréatique (par exemple au-dessous de 400 cm pour le sol A, de 200 cm pour le sol B et de 130 cm pour le sol D, profondeurs qui, dans ces sols, correspondent au niveau moyen des nappes phréatiques en hiver). Au cours des divers forages effectués dans les sols de Cantenac et Saint-Julien, on a d'ailleurs pu observer la présence de racines et de radicelles dans ces zones profondes du sol. Une interprétation très vraisemblable de ce phénomène est que, durant la période de croissance de la vigne, les radicelles se développent dans la zone d'abaissement de la nappe phréatique.

Certaines radicelles puisent de l'eau dans les réserves des couches superficielles du sol (eau capillaire suspendue), ces réserves étant plus ou moins réalimentées par les pluies (Fig. 10, 11, 12, 13, 14, 15, 19 et 20). D'autres radicelles absorbent l'eau laissée dans le sol par la nappe phréatique à mesure qu'elle s'abaisse. Enfin, certaines radicelles qui sont en contact avec la frange capillaire (eau capillaire soutenue) ont à leur disposition de l'eau facilement utilisable (ce cas est particulièrement net dans le sol B où de très nombreuses radicelles ont été identifiées de -240 à -270 cm). On comprend ainsi l'étonnante résistance à la sécheresse des vieilles vignes sur ces sols qui, malgré leur profondeur, ont des réserves en eau utile relativement faibles (par contre les plants à enracinement superficiel, notamment les plus jeunes, souffrent du manque d'eau au cours des étés arides). Ces sols présentent donc la particularité d'être peu tributaires des chutes de pluie pour assurer l'alimentation en eau de la vigne avant la véraison du raisin.

Remarque

Dans le sol C, à enracinement très superficiel, la nappe phréatique ne semble pas jouer de rôle dans l'alimentation en eau de la vigne, comme nous le verrons plus loin.

2. PENDANT LA MATURATION DU RAISIN

Si l'on compare les profils hydriques correspondant à la demi-véraison du raisin (du 17 au 26 août suivant les années) et ceux correspondant au début des vendanges (du 19 au 27 septembre suivant les années), on constate (Fig. 10, 11, 13 et 14) que, durant cette période, les variations des profils hydriques sont extrêmement faibles, sinon nulles, au-dessous du niveau où se trouve la frange capillaire au moment de la véraison du raisin (au-dessous de -520 cm pour le sol A et de -280cm pour le sol B). Les profils hydriques intermédiaires qui n'ont pas été reproduits afin de ne pas surcharger les schémas le montrent très nettement en 1966 et 1967. (Il faut cependant souligner qu'un mouvement de l'eau reste possible, même si le profil hydrique ne varie pas). Les très légères variations que l'on peut observer dans le bas des profils hydriques sont dues à l'abaissement de la nappe phréatique et de sa frange capillaire.

Remarque :

Ces faits n'ont pu être vérifiés sur le sol D car, au moment de la véraison, le niveau de la frange capillaire est situé à l'extrémité du tube de mesure. Ils ne l'ont pas été non plus en 1968 en raison de la remontée des nappes phréatiques pendant l'été.

Au cours des forages, on n'a d'ailleurs pas rencontré de racines et de radicelles au-dessous de ces niveaux. Par contre, dans le sol B, on a pu observer une très forte densité de radicelles de -240 à -270 cm, zone qui, dans ce sol, est située immédiatement au-dessus du niveau où se trouve la frange capillaire au moment de la véraison.

Pour interpréter ce phénomène, il faut considérer qu'à partir du mois d'août la croissance de la vigne devient de plus en plus faible. C'est vers cette même époque que se produisent la véraison du raisin et le début de sa maturation. Or, si l'abaissement de la nappe phréatique se poursuit, il n'est sans doute plus compensé par une poussée correspondante des radicelles dont la croissance, comme celle de toute la plante, est alors pratiquement arrêtée. Au fur et à mesure qu'elle s'abaisse, la nappe phréatique a un rôle de plus en plus réduit dans l'alimentation en eau de la vigne. Celle-ci se fait alors, essentiellement, à partir des réserves du sol plus ou moins réapprovisionnées par les pluies.

Dans ces conditions, il est possible de déterminer les quantités d'eau absorbées par la vigne avec une bonne précision.

IV. IMPORTANCE DE L'EVAPOTRANSPIRATION AU COURS DE LA MATURATION DU RAISIN

1. EVAPOTRANSPIRATION REELLE ET POTENTIELLE

Les études effectuées à l'Institut National de la Recherche Agronomique (1964) ont permis de préciser les relations qui existent entre l'alimentation en eau des végétaux et la production. La production, c'est-à-dire la quantité de matière sèche produite, dépend de la photosynthèse. Or, celle-ci varie constamment car elle est sous la dépendance de nombreux facteurs (lumière, température, gaz carbonique, eau). Chacun de ces facteurs peut être limitant et suffit à masquer l'action de tous les autres. Parmi ces facteurs, l'eau est un des plus importants.

L'alimentation en eau des végétaux est régie par la "loi" de l'offre et de la demande mais ces termes n'ont plus la signification qu'on leur attribuait autrefois. La demande ne correspond pas aux "besoins en eau" du végétal, mais découle directement des exigences imposées à chaque instant par le climat. Elle est définie par l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) qui dépend de nombreux facteurs (température, rayonnement, déficit de saturation de l'atmosphère, vitesse du vent, etc.). L'offre ne correspond pas à ce que les pluies et le sol peuvent apporter, mais à ce que le sol (par évaporation directe) et la plante (par transpiration cuticulaire et stomatique) sont capables de céder à l'atmosphère par unité de temps. Elles est définie par l'évapotranspiration réelle (E.T.R.). Elle dépend des quantités d'eau disponibles dans le sol, mais aussi de toutes les résistances s'opposant au passage de l'eau du sol jusqu'à l'atmosphère, notamment aux niveaux de passage sol-racine et feuille-air (même dans les conditions d'humidité du sol les plus favorables, une culture donnée, en un point donné, n'est capable d'évapotranspirer qu'une quantité d'eau limitée qui correspond à un débit q. maximum).

Pour maintenir la turgescence cellulaire, l'eau absorbée par la plante doit être égale à l'eau transpirée. Si le sol et la plante sont capables d'assurer le débit défini par l'évapotranspiration potentielle instantanée (c'est-à-dire si q. maximum est supérieur ou égal à E.T.P. instantanée), la turgescence cellulaire est maintenue et les stomates restent ouverts : le facteur eau n'est pas limitant. Mais cette éventualité est rarement réalisée, même si l'eau se trouve en quantité suffisante dans le sol. Le plus souvent il existe un déséquilibre entre l'offre et la demande:

		Tm.Max.	Tm.Min.	Tm.Moy.	Jours de grande chaleur	Pluies (mm)	Jours de pluie	Ensoleillement moyen
1966	23.6./17.8.	23,5	12,9	18,2	4	58,0	16	8,2
	17.8./13.9.	25,0	13,3	19,1	3	22,6	6	7,3
	13.9./27.9.	24,8	9,5	17,1	1	1,8	1	9,3
1967	8.7./17.8.	28,3	14,1	21,2	16	93,4	10	9,1
	17.8./ 5.9.	27,7	13,1	20,4	6	14,2	2	8,6
	5.9./19.9.	21,3	8,3	14,8	0	28,0	6	6,5
1968	12.6./26.8.	25,7	13,0	19,3	12	184,7	24	8,5
	26.8./ 2.9.	24,3	15,3	19,8	0	94,5	6	5,0
	2.9./23.9.	21,5	11,9	16,7	0	169,7	14	5,1

TABLEAU XXIII - CONDITIONS CLIMATOLOGIQUES A CANTENAC

Tm Max = moyenne des températures maximales (en °C)

Tm Min = moyenne des températures minimales (en °C)

Tm Moy = températures moyennes (en °C)

Les températures ont été relevées sous abri, à 2 mètres du sol.

Les jours de grande chaleur sont ceux où la température de l'air a dépassé 30°C.

Les jours de pluie sont ceux où les précipitations ont dépassé 0,2 mm.

Les durées d'ensoleillement (moyennes en heures par jour) ont été relevées à la Station Météorologique de Bordeaux-Mérignac.

Les dates correspondent aux profils hydriques reproduits sur les schémas.

la turgescence diminue et entraîne chez les feuilles une régulation stomatique (les stomates se ferment plus ou moins) qui isole la plante du milieu extérieur. Il s'ensuit une réduction des échanges gazeux, du gaz carbonique notamment, ce qui limite l'activité photosynthétique et par conséquent l'élaboration de matière sèche. Ce déséquilibre hydrique est particulièrement élevé pendant les heures les plus chaudes (et aussi les plus lumineuses) de la journée, c'est-à-dire au moment où la photosynthèse pourrait être la plus active ("dépression de midi"). L'élaboration de matière sèche n'aurait donc lieu que durant un temps réduit par rapport à la période active de la végétation. Connaître la quantité d'eau évapotranspirée n'est donc pas suffisant: la valeur la plus intéressante est celle du déficit de l'évapotranspiration réelle par rapport à l'évapotranspiration potentielle.

Remarque

Dans la plupart des cas étudiés, les qualités d'eau évaporées directement par le sol sont beaucoup plus faibles que celles transpirées par la vigne.

2. EVAPOTRANSPIRATION REELLE EN 1966

L'été 1966 a été caractérisé par des températures déficitaires en juillet et août, mais supérieures à la normale en septembre. Après une période de forte pluviosité au début du mois de juin (environ 120 mm en 20 jours), les pluies ont été faibles par la suite, notamment au cours de la maturation du raisin : 24 mm seulement du 17 août au 27 septembre à Cantenac, l'essentiel des précipitations (16 mm) s'étant produit dans la dernière semaine du mois d'août (tableau XXIII).

A l'échelon régional, l'évapotranspiration potentielle (E. T. P.) calculée par la formule de THORNTHWAITE a présenté les valeurs indiquées dans le tableau XXIV. (Ces valeurs nous ont été fournies par la Station Météorologiques de Bordeaux-Mérignac où les températures présentent des valeurs tout à fait semblables à celles de Cantenac).

A l'aide des profils hydriques et en tenant compte des chutes de pluie, l'évapotranspiration réelle (ETR) a été calculée pendant les périodes précédant et suivant la demi-véraison du raisin qui se situe aux environs du 17 août (tableau XXIV).

Le déficit d de l'évapotranspiration réelle par rapport à l'évapotranspiration potentielle est indiqué sur le tableau XXIV.

		23.6/17.8	17.8/13.9	13.9/27.9
	ETP	3,5	3,3	2,6
ETR	(sol A)	2,7 (-20 -360 cm)	1,7 (-20 -500 cm)	1,1 (-20 -500 cm)
	(sol B)	2,5 (-20 -240 cm)	1,5 (-20 -280 cm)	0,9 (-20 -280 cm)
	(sol C)	3,2 (-20 -120 cm)	1,3 (-20 -120 cm)	0,7 (-20 -120 cm)
d	(sol A)		1,6	1,5
	(sol B)		1,8	1,7
	(sol C)		2,0	1,9

TABLEAU XXIV - EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP), EVAPOTRANSPIRATION REELLE (ETR) ET DEFICIT ETR-ETP (d) EN 1966

Tous les résultats sont exprimés en millimètres par jour. En 1966, en l'absence d'un réflecteur de neutrons qui permet de faire des mesures près de la surface, les valeurs de ETR ont été calculées à partir de -20 cm : elles sont sous-estimées d'environ 0,1 mm par jour pour la seule période du 13 au 27 Septembre. A côté des valeurs de ETR, on a indiqué la profondeur du sol qui a servi à faire les calculs. Les limites inférieures ont été choisies de manière à ce que les variations d'humidité provenant de l'abaissement des nappes phréatiques n'interviennent pas dans les calculs.

Le calcul exact de l'évapotranspiration réelle entre le 23 juin et le 17 août est pratiquement impossible du fait que l'on ne peut évaluer, d'une part les quantités d'eau absorbées à partir de la frange capillaire et d'autre part les pertes par drainage lent. On peut cependant avoir une idée de l'importance de l'évapotranspiration réelle au cours de cette période en faisant les calculs sur les premières mètres du sol seulement (jusqu'à 360 cm pour le sol A, 240 cm pour le sol B et 120 cm pour le sol C). On voit sur le tableau XXIV que l'évapotranspiration réelle, est relativement élevée avant la véraison du raisin. Si l'on tient compte du fait que les radicelles peuvent puiser de l'eau à partir de la frange capillaire, la valeur de l'évapotranspiration réelle doit être encore plus élevée. Dans le sol C la différence entre ETP et ETR est extrêmement faible, ce qui semble confirmer que, par suite de son enracinement très superficiel, la vigne ne s'alimente pas aux dépens de la nappe phréatique.

A partir du 17 août, l'évapotranspiration réelle est beaucoup plus faible et le déficit d important. De la véraison aux vendanges, la pluviosité a été extrêmement faible (24 mm). L'alimentation en eau de la vigne s'est faite presque uniquement à partir des réserves du sol. Or, au moment de la véraison, les sols étaient déjà partiellement asséchés (Fig. 10, 13 et 16) et à mesure que les racines puisaient de l'eau, celle qui restait dans le sol était retenue de plus en plus énergiquement (par augmentation du potentiel capillaire) si bien que l'alimentation en eau de la vigne a été de plus en plus réduite.

On peut remarquer cependant (tableau XXIV) que du 13 au 27 septembre, les déficits ETR-ETP ont été légèrement plus faibles que dans la période précédente. Bien que les réserves en eau aient été encore plus réduites qu'au moment de la véraison, le "système sol-plante" a pu satisfaire plus facilement une "demande climatique" plus faible (l'ETP était d'environ 2,6 mm par jour contre 3,3 mm par jour du 17 août au 13 septembre).

On remarque également sur le tableau XXIV que l'évapotranspiration réelle a été d'autant plus forte que l'enracinement était plus profond, c'est-à-dire, que les réserves en eau utilisable par les racines étaient importantes (elle a été plus élevée dans A que dans B et plus élevée dans B que dans C).

En résumé, on peut dire qu'en 1966 l'alimentation en eau de la vigne a été nettement insuffisante au cours de la maturation du raisin, surtout dans le sol C.

3. EVAPOTRANSPIRATION REELLE EN 1967

Après une période fraîche au début du mois de juin, les températures ont été,dans l'ensemble,supérieures à la normale du 20 juin au 3 août. Le début du mois d'août a été généralement froid. Du 15 août au 3 septembre on a observé de fortes chaleurs tandis que le reste du mois de septembre a été caractérisé par sa fraîcheur. La pluviosité a été faible en juin et juillet avec cependant de gros orages les 13 et 14 juillet. Du 8 au 16 août,on a observé de fortes précipitations en Médoc (70,7 mm à Cantenac; 63,4 mm à Saint-Julien), contrairement à ce qui s'est passé dans les autres régions viticoles du Bordelais. Après trois semaines de sécheresse, on a observé de nouvelles pluies à partir du 3 septembre, pluies qui se sont poursuivies irrégulièrement jusqu'au début des vendanges. La pluviosité de la véraison (17 août) au début des vendanges (19 septembre) a été de 42,2 mm à Cantenac et de 38, 6 mm à Saint-Julien, l'essentiel des précipitations s'étant produit à partir du 3 septembre (tableau XXIII).

Les évapotranspirations potentielle et réelle ainsi que le déficit ETR-ETP (d) ont été calculés de la même manière qu'en I966 (tableau XXV).

A la suite des pluies du 8 au 16 août, les sols étaient humides au moment de la véraison du raisin (Fig. 11, 14, 17 et 19) alors qu'ils étaient déjà partiellement asséchés à la même époque en I966(dans les sols A, B et C ,les humidités moyennes dans le premier mètre de sol étaient respectivement supérieures de 14 %, 22 % et 20 % à celles de I966 à la même époque). Les évapotranspirations réelles ont été élevées et leur déficit par rapport à l'évapotranspiration potentielle relativement réduit du 17 août au 5 septembre. On a pu observer la même chose en fin de maturation du raisin car des pluies assez abondantes et régulièrement réparties ont réapprovisionné les réserves en eau du sol. Le potentiel capillaire du sol s'étant maintenu à un niveau beaucoup plus bas qu'en I966, l'alimentation en eau de la vigne s'est faite dans de bonnes conditions au cours de l'été I967. (A Cantenac, dans les quinze derniers jours précédant les vendanges, les déficits de l'évapotranspiration réelle par rapport à l'évapotranspiration potentielle ont été, en moyenne, 3,6 fois plus faibles qu'en I966).

Remarque

Afin de pouvoir comparer les quatre sols pendant les mêmes périodes, l'évapotranspiration réelle du sol D a été calculée jusqu'au 19 septembre, alors que les vendanges y ont été plus tardives que sur les sols A, B et C.

		8.7/17.8	17.8/5.9	5.9/19.9
ETP		4,0	3,6	2,2
ETR	(sol A)	2,6 (0 - 380 cm)	2,8 (0 - 520 cm)	1,9 (0 - 520 cm)
	(sol B)	2,5 (0 - 260 cm)	2,9 (0 - 280 cm)	1,5 (0 - 280 cm)
	(sol C)	3,0 (0 - 110 cm)	2,8 (0 - 110 cm)	1,8 (0 - 110 cm)
	(sol D)	3,2 (0 - 140 cm)	3,1 (0 - 180 cm)	1,9 (0 - 180 cm)
d	(sol A)		0,8	0,3
	(sol B)		0,7	0,7
	(sol C)		0,8	0,4
	(sol D)		0,5	0,3

TABLEAU XXV - EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (E T P), EVAPOTRANSPIRATION REELLE (ETR) ET DEFICIT ETR-ETP (d) EN 1967

4. EVAPOTRANSPIRATION REELLE EN 1968

Le mois de juin a été ensoleillé, peu pluvieux mais assez frais. Le mois de juillet a été également très ensoleillé, avec une pluviosité et des températures proches de la normales. Par contre, les mois d'août et septembre ont été caractérisés par leur fraicheur (les températures moyennes n'ont pas été particulièrement faibles mais on notera sur le tableau XXIII qu'il n'y a pas eu un seul jour de grande chaleur pendant la période de maturation du raisin), par un ensoleillement fortement déficitaire et par une pluviosité anormalement élevée. On a observé seulement deux périodes sans précipitations : du 15 au 27 août et du 4 au 12 septembre.

L'étude des profils hydriques relevés en I968 (Fig. 12, 15, 18 et 20) montre que, par suite d'une pluviosité importante, l'humidité des sols est restée élevée pendant la maturation du raisin et que cette humidité a augmenté de la véraison aux vendanges (les profils hydriques sont de plus en plus décalés vers la droite). Dès le 2 septembre, on a constaté qu'une partie de l'eau apportée par les pluies a traversé le sol sur toute sa hauteur et a rejoint les nappes phréatiques dont les niveaux ont commencé à remonter. Il n'a donc pas été possible d'établir des bilans hydriques et de déterminer E T R avec suffisamment de précision ; on peut cependant estimer que l'alimentation en eau de la vigne a pu se faire dans d'excellentes conditions au cours de l'été I968.

Remarque

Lorsqu'on dit que l'alimentation en eau de la vigne a été mauvaise, bonne ou excellente, on se place du point de vue de la plante. Cela ne signifie pas, bien au contraire, que ces conditions d'alimentation en eau ont la même incidence sur la qualité du vin.

V . INFLUENCE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE SUR LA MATURATION DU RAISIN ET LA QUALITE DES VINS.

Tout ce qui a été mentionné jusqu'ici est le résultat d'observations précises. Les interprétations qui vont suivre comportent l'imbrication de nombreux facteurs (température, ensoleillement, pluviosité, humidité du sol, nutrition minérale et alimentation en eau de la vigne, etc.) En conséquence, il est évidemment très difficile d'établir des corrélations précises entre l'alimentation en eau de la vigne et l'évolution de la maturation du raisin qui a été étudiée en même temps que les profils hydriques.

1. INFLUENCE SUR LA PRODUCTION DE SUCRES

L'accumulation de sucres dans les baies provient essentiellement de l'activité photosynthétique.

EN I966 , (tableau XXVI), les teneurs en sucres des moûts ont été aussi élevées qu'en I967 mais, compte-tenu des rendements, la production globale de sucres à l'hectare a été inférieure d'environ 30 % à celle de I967. Or, si les mois de juillet et août ont été relativement frais, les températures et l'ensoleillement ont été supérieurs à la normale saisonnière en septembre. Ici, c'est surtout la mauvaise alimentation en eau de la vigne qui a joué le rôle de facteur limitant.

EN I967, contrairement à ce qui s'est passé dans d'autres régions viticoles du Bordelais, l'alimentation en eau de la vigne a été bonne en Médoc. La photosynthèse a été très active de la véraison au 5 septembre, période chaude (température moyenne = 20,4°C) et ensoleillée : le 5 septembre, le degré alcoolique en puissance était déjà voisin de 10° (tableau XXVII). Du 5 au 21 septembre, la photosynthèse a été plus réduite car les températures anormalement basses (température moyenne = 14,8°C) ont été ici le facteur limitant. Compte-tenu des rendements, la production de sucre à l'hectare a été importante malgré le fléchissement observé en fin de maturation.

EN I968, bien qu'il n'ait pas été possible d'établir des bilans précis, on peut considérer que l'alimentation en eau de la vigne a pu se faire dans d'excellentes conditions. La production de sucres a été

Sols	Dates	Sucres g/l	Acidité méq/l	Acide tartrique méq/l	Acide malique méq/l	Alcalinité des cendres méq/l
A	8.8	20	431	261	200	37
	17.8	110	279	178	140	38
	23.8	137	204	154	88	41
	30.8	162	168	150	52	40
	13.9	193	108	115	28	41
	20.9	208	92	98	20	-
B	8.8	27	371	215	180	31
	17.8	120	256	166	120	32
	23.8	150	196	143	89	40
	30.8	165	162	137	56	39
	13.9	196	111	115	32	39
	20.9	205	92	98	20	-
C	8.8	30	380	261	140	31
	17.8	107	300	188	140	30
	23.8	132	223	150	104	40
	13.9	179	114	115	32	41
	20.9	188	92	101	16	-

TABLEAU XXVI - MATURATION DU RAISIN EN 1966

La demi-véraison s'est située aux environs du 15 août.

Les vendanges ont commencé le 25 Septembre.

Sols	Dates	Sucres g/l	Acidité méq/l	Acide tartrique méq/l	Acide malique méq/l	Alcalinité des cendres méq/l
A	17.8	87	323	178	124	37
	5.9	185	118	95	57	40
	19.9	207	94	98	37	42
	21.9	207	93	96	37	43
B	17.8	93	334	176	198	39,5
	5.9	186	118	89	67	40
	19.9	203	90	96	37	44
	21.9	205	90	96	36	45
C	17.8	71	358	180	212	39
	4.9	170	133	105	64	38,5
	19.9	195	99	98	36	38,5
	21.9	195	95	96	35	40
D	17.8	82	361	210	193	42
	4.9	165	133	114	58	43
	19.9	199	99	100	42	45
	25.9	212	88	97	34	46

TABLEAU XXVII - MATURATION DU RAISIN EN 1967

Les pourcentages de grains vérés le 17 Août étaient :
47 % en A, 60 % en B, 23 % en C et 53 % en D.
Les vendanges ont commencé le 22 Septembre.

Sols	Dates	Sucres g/l	Acidité méq/l	Acide tartrique méq/l	Acide malique méq/l	Alcalinité des cendres méq/l
A	26.8	107	252	167	116	40
	2.9	144	195	149	88	41
	11.9	166	142	126	48	42
	23.9	169	109	101	44	42
B	26.8	111	260	167	126	39
	2.9	141	184	148	80	41
	11.9	172	134	129	40	41
	23.9	177	101	92	40	41
C	26.8	91	312	169	174	40
	2.9	128	206	147	102	40
	11.9	160	153	133	50	39
	23.9	161	104	101	45	43
D	27.8	105	261	164	132	38
	2.9	134	206	152	96	40
	11.9	162	149	145	42	39
	23.9	159	106	105	40	42

TABLEAU XXVIII - MATURATION DU RAISIN EN 1968

Les pourcentages de grains vérés le 26 Août étaient : 62 % en A, 73 % en B, 37 % en C et 78 % en D.
Les vendanges ont commencé le 23 Septembre.

normale de la véraison (plus tardive qu'en 1968 et 1967) au 11 septembre. Mais on peut voir sur le tableau XXVIII que du 11 au 23 septembre, période plus froide et surtout très peu ensoleillée (ensoleillement moyen = 3,2 heures par jour), la teneur en sucres du jus de raisin n'a pratiquement pas augmenté. En 1968, c'est surtout le manque de luminosité qui a été le facteur limitant.

On notera que, pour limiter les dégats de la pourriture sur le Merlot et malgré une véraison plus tardive d'une huitaine de jours, les vendanges ont été aussi précoces que les autres années alors que le raisin n'avait pas atteint un degré suffisant de maturité.

En résumé, les effets sur la production de sucres de l'alimentation en eau de la vigne, de la température et de l'ensoleillement sont étroitement imbriqués ; la déficience d'un seul de ces facteurs masque l'action favorable des autres et limite la photosynthèse ; malgré ces imbrications, il a été possible d'identifier le principal facteur limitant au cours des différentes années.

2. INFLUENCE SUR L'ACIDITE DU RAISIN

On sait qu'au moment de la véraison, le raisin contient des taux importants d'acides organiques : acide tartrique, acide malique et, en beaucoup plus faible quantité, acide citrique. L'acidité du jus de raisin est alors très élevée. De la véraison aux vendanges, cette acidité diminue rapidement par dilution (due à l'augmentation de volume des grains), par disparition d'une partie des acides (surtout par combustion respiratoire) et enfin par neutralisation partielle des fonctions acides (migration de bases vers le raisin).

a. Teneurs en acide tartrique et en acide malique du jus de raisin.

La teneur en acides organiques du jus de raisin dépend de l'importance relative des apports et des pertes. En ce qui concerne l'acide malique, les apports sont toujours inférieurs aux pertes par combustion respiratoire et par transformation en glucides (RIBEREAU-GAYON G., 1966) : sa teneur diminue constamment de la véraison aux vendanges. L'acide tartrique est plus stable et, pour des conditions climatiques normales, la diminution de son taux dans le jus de raisin est surtout due au phénomène de dilution. PEYNAUD a cependant observé une disparition de cet acide au cours des périodes de sécheresse et un afflux important à la suite de pluies.

La disparition de l'acide tartrique peut s'expliquer par une combustion respiratoire (RIBEREAU-GAYON et PEYNAUD, 1960) et par une migration vers les racines où il s'accumule (RIBEREAU-GAYON G., 1966). Il est plus difficile d'expliquer les apports importants que l'on observe au cours de certaines périodes car, selon RIBEREAU-GAYON G. (1966) la synthèse de l'acide tartrique n'aurait lieu que dans les organes en cours de croissance (jeunes feuilles, raisins verts) : elle serait pratiquement inexistante au cours de la maturation du raisin. PEYNAUD a montré que l'augmentation du taux d'acide tartrique est en relation avec des précipitations abondantes qui augmentent la circulation de l'eau dans la souche (RIBEREAU-GAYON et PEYNAUD, 1960). Les résultats obtenus au cours de la présente étude confirment ces observations.

Dans le cas présent, il est intéressant de comparer l'évolution du taux d'acide tartrique dans le jus de raisin à Cantenac et sur un sol limono-argilo-sableux de Saint-Caprais (Premières Côtes de Bordeaux).

En 1966, entre le 25 août et le 1er septembre, il est tombé 17 mm de pluie à Cantenac et 19 mm à Saint-Caprais. A Cantenac, les sols étaient déjà fortement asséchés tandis qu'à Saint-Caprais, ils étaient encore très humides au moment des premières précipitations. Pour une pluviosité sensiblement équivalente, on a observé une nette remontée du taux d'acide tartrique à Saint-Caprais (11 méq. / l.) tandis qu'à Cantenac on a constaté que le taux d'acide tartrique continuait à diminuer mais en marquant cependant un léger pallier (4 à 6 méq. / l.) (Fig. 21).

En 1967, après trois semaines de sécheresse, les précipitations ont été assez abondantes (28 mm du 5 au 19 septembre à Cantenac ; 38,6 mm du 8 au 26 septembre à Saint-Caprais). Mais, à l'inverse de ce qui s'était produit en 1966, au début des pluies, les sols de Cantenac étaient humides (les taux moyens d'humidité dans le 1er mètre de sol étaients supérieurs de 14 % en A et de 22 % en B à ceux de 1966 à la même époque) par suite de la forte pluviosité observée juste avant la véraison (70 mm du 8 au 15 août). Inversement, le sol de Saint-Caprais était fortement asséché par suite de la faible pluviosité observée avant la véraison (seulement 18 mm de pluie du 8 au 15 août). Au début des précipitations, l'humidité moyenne dans le 1er mètre de sol était, en 1967, inférieure de 26 % à celle de 1966. Pendant les périodes considérées, le taux d'acide tartrique a continué de diminuer à Saint-Caprais (23 méq. / l.) tandis qu'il augmentait légèrement sur les sols A et B de Cantenac (3 et 7 méq. / l.) (Fig. 22).

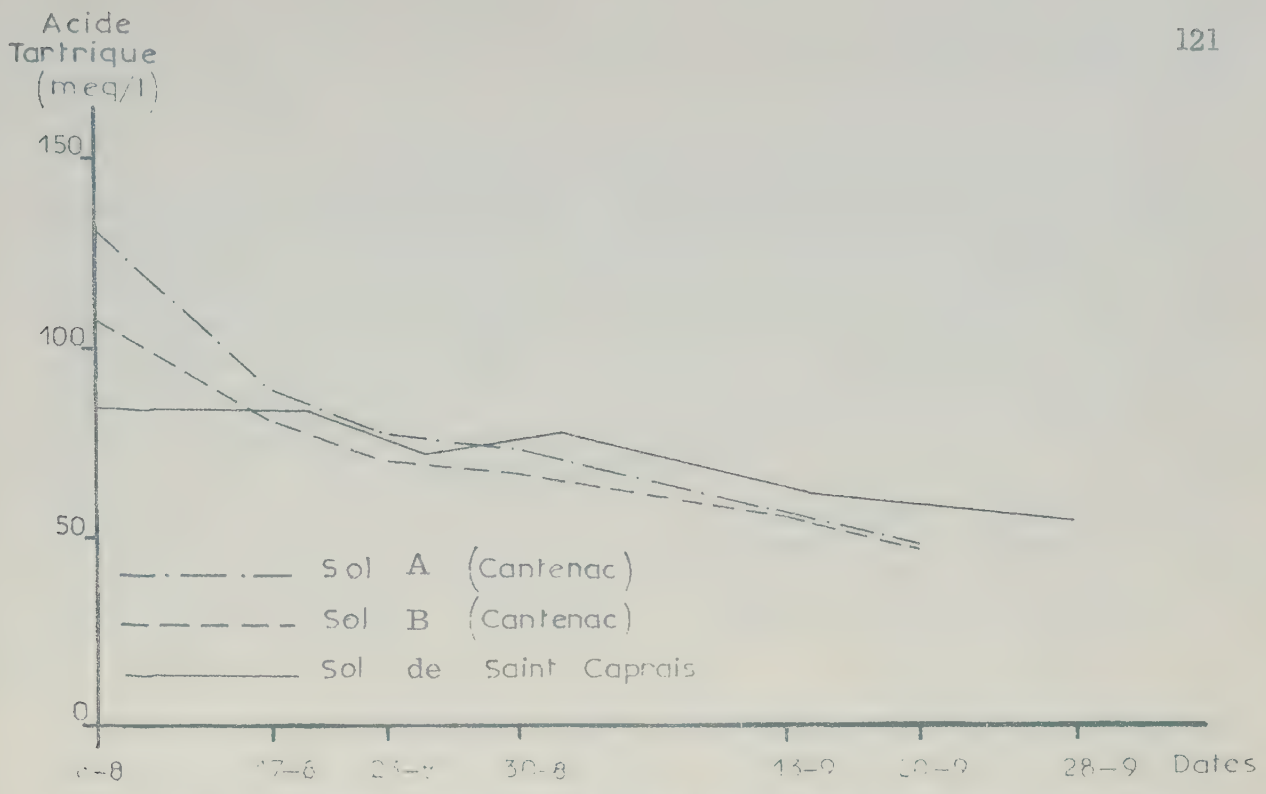

Fig. 21- EVOLUTION DE LA TENEUR EN ACIDE TARTRIQUE EN 1966

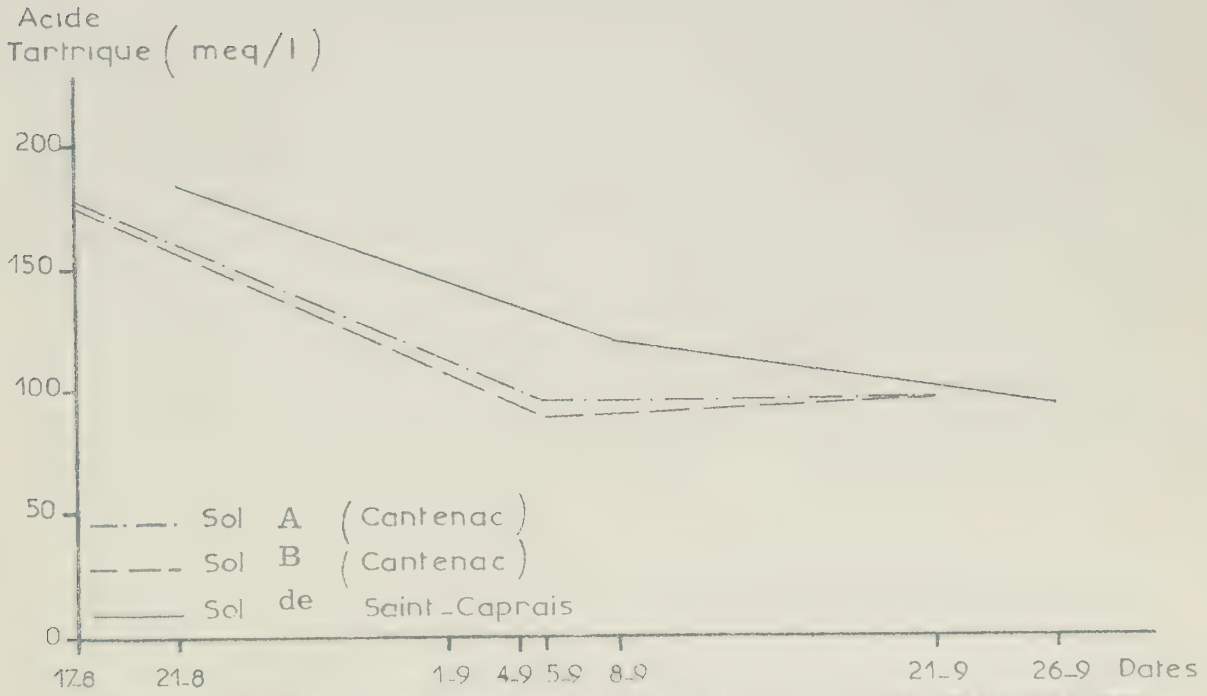

Fig. 22 - EVOLUTION DE LA TENEUR EN ACIDE TARTRIQUE EN 1967

La remontée du taux d'acide tartrique à la suite de précipitations est donc liée à la "circulation de l'eau dans la souche" avec cette précision qu'elle dépend davantage de l'état d'humidité du sol que de la pluviosité proprement dite dont les effets sont très variables suivant qu'elle tombe sur un sol déjà humide ou fortement asséché. Il aurait été souhaitable de pouvoir mettre en parallèle les variations de la teneur en acide tartrique du jus de raisin avec celles des valeurs de l'évapotranspiration réelle. En fait, il est difficile d'établir des bilans hydriques exacts dans le sol de Saint-Caprais (proximité de la nappe phréatique et faibles variations de son niveau). Un calcul très approximatif de l'ETR montre cependant que la remontée du taux d'acide tartrique est liée à l'importance de l'évapotranspiration réelle. Cet acide accumulé dans les racines (RIBEREAU-GAYON G., 1966) serait "véhiculé" jusqu'au raisin par la circulation ascendante de l'eau.

En ce qui concerne l'acide malique, les interprétations sont plus délicates du fait que son taux diminue constamment de la véraison aux vendanges, les pertes l'emportant toujours sur les apports. On constate néanmoins, pour le Merlot noir et dans les cas étudiés, que les teneurs en acide malique des moûts au moment des vendanges sont d'autant plus élevées que l'alimentation en eau de la vigne a été bonne (tableau XXIX : les teneurs en acide malique sont plus élevées en 1968 qu'en 1967 et plus élevées en 1967 qu'en 1966).

Remarque

En fait, l'analyse des résultats est très complexe si l'on tient compte des nombreux facteurs qui interviennent (teneurs en acide malique au moment de la véraison, influence des températures sur la vitesse des combustions respiratoires, dilution des jus par apport d'eau au raisin etc.). C'est ainsi qu'en 1967, les teneurs en acide malique au moment de la véraison étaient plus élevées qu'en 1966 mais on peut voir sur le tableau XXVII qu'il a été dégradé très rapidement du 17 août au 5 septembre par suite des températures élevées au cours de cette période. Inversement, en 1968, les teneurs en acide malique au moment de la véraison étaient beaucoup plus faibles qu'en 1967 (tableaux XXVII et XXVIII); malgré cela, les teneurs en acide malique au moment des vendanges ont été plus élevées en 1968 qu'en 1967.

On peut également constater, au cours d'une même année, que les teneurs en acide malique du moût sont nettement plus élevées sur les sols humides. Par exemple, en 1966, la teneur en acide malique correspondant au profil n°1 (profil où les horizons superficiels

Sols	Années	Acide tartrique méq/l	Acide malique méq/l	Acide tartrique + acide malique	Acide malique / acide tartrique
A	1966	98	20	108	0,20
	1967	96	37	133	0,39
	1968	101	44	145	0,44
B	1966	98	20	10[illegible]	0,20
	1967	96	36	132	0,38
	1968	92	40	13[illegible]	0,43
C	1966	101	16	117	0,16
	1967	96	35	131	0,36
	1968	101	45	146	0,45
D	1967	97	34	131	0,35
	1968	105	40	145	0,38

TABLEAU XXIX - TENEURS EN ACIDE TARTRIQUE ET EN ACIDE MALIQUE DES MOUTS AU MOMENT DES VENDANGES

sont engorgés par suite de la présence à faible profondeur d'un niveau imperméable) était de 34 méq. / l. alors que celle correspondant au profil n°3 (C) (situé à quelques mètres du profil n°1) n'était que de 16 méq. / l. De même, les moûts correspondant au sol de palu (profil n°16) restent toujours très acides, cette forte acidité étant due, en grande partie, à l'acide malique (rapport acide malique sur acide tartrique = 0,88 alors qu'il n'est, en moyenne, que de 0,37 sur des sols voisins beaucoup moins humides situés sur des croupes graveleuses; il faut cependant signaler qu'il ne s'agit pas du même cépage).

En résumé, on peut dire d'une manière très schématique (pour le Merlot noir et pour les points étudiés) que la teneur en acides organiques des moûts est d'autant plus élevée que l'alimentation en eau de la vigne est bonne (tableau XXIX : somme acide tartrique + acide malique), mais que les variations d'une année à l'autre portent davantage sur l'acide malique que sur l'acide tartrique (tableau XXIX : le rapport acide malique sur acide tartrique est d'autant plus élevé que l'alimentation en eau est bonne).

On constate également ce fait déjà observé que, pour la région étudiée et pour des conditions climatiques déterminées, la somme et le rapport de l'acide malique et de l'acide tartrique sont caractéristique de l'année.

b. Acidité des moûts.

En ce qui concerne la valeur finale de l'acidité totale, il faut tenir compte de l'influence des températures. Lorsqu'elles sont élevées (ce fût le cas en I967 de la véraison au début du mois de septembre) la combustion des acides est rapide et généralement supérieure aux apports, même lorsque l'évapotranspiration réelle est importante. D'autres facteurs interviennent également (augmentation du volume des grains, migration des bases), si bien qu'il est difficile de déterminer avec précision l'influence de la consommation d'eau sur l'acidité finale du moût. Il est en tout cas acquis que dans les sols très humides, l'acidité du raisin reste toujours élevée.

Comme en I966 les températures et l'ensoleillement ont été sensiblement identiques et surtout que la pluviosité a été pratiquement la même dans toutes les régions viticoles du Bordelais, contrairement à ce qui s'est produit en I967 et I968, il est possible de comparer les crus étudiés en Médoc avec d'autres situés dans la région des Graves et des

Premières Côtes de Bordeaux où l'évapotranspiration réelle a été beaucoup plus élevée (SEGUIN, I969 ; COMPAGNON, I970). On a pu constater qu'au moment des vendanges, l'acidité du moût était d'autant plus élevée que la valeur moyenne de l'évapotranspiration réelle avait été forte au cours de la maturation du raisin. Ces études qui portaient sur une quinzaine de sols ont montré que l'acidité pouvait varier de 92 à 123 méq/l pour des valeurs de l'évapotranspiration réelle allant de 1,1 à 2,5 mm par jour.

3. INFLUENCE SUR LE DEVELOPPEMENT DE LA POURRITURE GRISE

Généralement, lorsque la pluviosité est importante au cours de la maturation du raisin, on observe une attaque des baies par Botrytis cinerea, sous forme de "pourriture grise". Celle-ci cause des préjudices considérables à la qualité des vins obtenus (pertes de récolte, manque de couleur, goûts de moisi, etc.).

C'est ainsi qu'en I967, on a observé un début d'attaque par la pourriture grise. Comme les raisins avaient atteint un degré suffisant de maturité ils ont été vendangés aussitôt ce qui a limité l'extensio et les effets de la pourriture. Par contre, en I968 et I969,l'attaque a été plus précoce et les dégâts importants, notamment sur les cépages sensibles tels que le Merlot noir.

Or, au cours de ces trois années, on a constaté que la pourriture se développait préférentiellement sur les mêmes parcelles. Ce phénomène ne peut s'expliquer ni par la richesse en azote ou en éléments minéraux assimilables des sols, ni par l'état de maturité du raisin, ni par les teneurs en azote total et en ammonium des jus de raisins(SEGUIN et COMPAGNON, I970). Par contre, on peut observer une bonne corrélation entre la profondeur d'enracinement de la vigne et les pourcentages d grains pourris relevés au moment des vendanges (tableau XXX).

Sols	Profondeur des racines (en cm)	% de pieds portant des grains pourris le 19.9.1967	% de grains pourris le 23.9.1968	% de grains pourris le 22.9.1969
A	500	0	5	21
B	270	12	41	43
D	170	44	50	42
C	100	71	70	56

Tableau XXX. TAUX DE POURRITURE SUIVANT LA PROFONDEUR DE l'ENRACINEMENT (Merlot noir)

Nous n'avons reproduit ici que les résultats concernant les quatre sols du Médoc dont nous avons déjà parlé mais on observe les mêmes phénomènes sur tous les sols (Médoc, Graves, Entre-deux-Mers) dont nous avons entrepris une étude détaillée. Les résultats ont fait l'objet de publications particulières (SEGUIN et al., 1969 - SEGUIN et COMPAGNON, 1970).

On sait que de fortes précipitations se traduisent par un afflux d'eau dans les baies. Cet afflux d'eau, variable suivant les sols, provoque une augmentation plus ou moins importante du volume des grains et leur éclatement lorsque la pression interne devient supérieure à la résistance de la pellicule (la rupture des pellicules se fait sous forme de fentes rectilignes mais, le plus souvent, sous forme d'étoiles à trois branches ce qui montre bien que la rupture est due à une tension). L'attaque de Botrytis cinerea ainsi que celle d'autres champignons (Penicillium, Aspergillus, Mucor) est d'abord localisée en bordure des plaies. Dans tous les cas que nous avons observés, l'invasion par la pourriture grise a toujours été précédée par l'éclatement des grains. Puis, si les conditions de température et d'humidité restent favorables, elle peut se développer de proche en proche et envahir la totalité de la grappe y compris les grains non éclatés.

Si, au premier abord, il ne semble pas y avoir de raisons pour que la profondeur d'enracinement ait une influence sur le développement de la pourriture grise, nous allons voir que l'éclatement des grains peut s'expliquer par l'alimentation en eau de la vigne, celle-ci dépendant pour une grande part du mode d'enracinement.

Dans les sols profonds, l'enracinement se répartit sur toute la hauteur du profil. La densité des racines dans les horizons superficiels est alors beaucoup plus faible que dans le cas de sols peu profonds où la totalité du système radiculaire est localisée à proximité de la surface.

Lorsqu'une pluie d'intensité moyenne tombe sur un sol partiellement asséché (comme au mois de septembre I967), l'eau reste localisée dans les couches superficielles du sol où le potentiel capillaire (pF) va diminuer. Cette eau sera donc absorbée préférentiellement par les racines.

a) Dans les sols à enracinement superficiel (bien que la vigne soit suffisamment âgée), la plus grande partie, sinon la totalité du système radiculaire se trouve dans la zone humectée par la pluie. L'absorption d'eau y est rapide et importante (comme le montrent les profils hydriques) et les grains éclatent.

b) Dans les sols à enracinement profond, les surfaces absorbantes se trouvant dans la zone humectée sont beaucoup plus faibles que dans le cas précédent. L'absorption d'eau y est lente et progressive. Elle est également limitée dans les couches profondes du sol partiellement asséchées car le potentiel capillaire y présente une valeur plus élevée (SEGUIN, I969 ; SEGUIN et al. I969).

En définitive, sur les sols profonds et perméables, les quantités d'eau absorbées aussitôt après une pluie sont généralement plus faibles et l'éclatement des grains plus réduit que sur les sols à enracinement superficiel. C'est ainsi qu'en I967, le front de pénétration des pluies n'a pas atteint la profondeur de 1 mètre. Or, au cours de la période de pluviosité, la valeur de l'évapotranspiration réelle calculée sur les 100 premiers centimètres a été, en moyenne, de 1,71 mm par jour pour 7 sols ayant un enracinement inférieur à 2 mètres et seulement de 0,98 mm par jour pour 4 sols ayant un enracinement compris entre 2 et 6,5 mètres. Les valeurs moyennes de l'évapotranspiration réelle calculées sur l'ensemble des profils ont été de 2,0 mm par jour pour les 7 sols à enracinement superficiel et seulement de 1,62 mm par jour pour les 4 sols à enracinement profond.

Lorsque la pluviosité est importante (I968, I969), le profil finit par être totalement humecté et même temporairement saturé si la perméabilité du sol est insuffisante. L'état de saturation du profil dépend alors de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol, mais aussi de l'intensité et de la répartition des pluies qui peuvent varier dans de larges proportions suivant les régions. Aux facteurs précédemment cités qui jouent un rôle très important au début, vient s'ajouter une notion de perméabilité dès que la teneur en eau des profils a atteint les valeurs correspondant à la capacité de rétention. On peut voir dans ce cas (tableau XXX et XXII) que les taux de pourriture sont d'autant plus élevés que les écarts par rapport à la capacité de rétention sont importants, c'est-à-dire que le sol est moins perméable. Le régime de l'eau et la perméabilité du sol permettent seulement d'expliquer l'éclatement des grains qui, généralement, est la première cause de l'invasion par la pourriture grise. Si les résultats obtenus sur l'ensemble des sols étudiés (sols graveleux de la rive gauche de la Garonne) montrent que ces deux facteurs ont une grande influence, il est certain que d'autres facteurs, encore mal connus, interviennent dans le développement de la pourriture grise.

Remarque

Les taux de pourriture indiqués dans le tableau XXX sont exceptionnellement élevés. Il faut souligner que, d'une part, les étés I968 et I969 ont été anormalement pluvieux et que, d'autre part, ces résultats ont été obtenus sur du Merlot qui éclate et pourrit plus facilement que le Cabernet-Sauvignon (le Cabernet-Sauvignon est le cépage dominant du Médoc). Les pourcentages de grains pourris relevés sur des parcelles contiguës (où les ceps sont placés dans des conditions agro-pédologiques et microclimatiques semblables) l'une plantée en Merlot et l'autre en Cabernet ont été les suivants :

	I 9 6 8		I 9 6 9		
	Médoc 23.9	Médoc 23.9	Médoc 17.9	Graves 26.9	Graves 26.9
Merlot	5 %	41 %	22 %	7 %	17 %
Cabernet	1 %	5 %	0 %	1 %	6 %

4. INFLUENCE SUR LA QUALITE DES VINS

La somme des températures moyennes et des durées d'ensoleillement, de la demi-véraison aux vendanges, ont été sensiblement identiques en I966 et I967 comme on peut le voir dans le tableau XXXI. La différence essentielle entre ces deux années est venue de l'alimentation en eau de la vigne qui a été bonne en I967 et fortement déficitaire en I968.

	I966	I967	Différence %
Somme des températures moyennes	642,7°C	630,2°C	1,9 %
Durée d'ensoleillement en heures	270,2	264,8	2,0 %

TABLEAU XXXI. SOMME DES TEMPERATURES MOYENNES ET DE LA DUREE d'ENSOLEILLEMENT du 17 AOUT au 20 SEPTEMBRE INCLUS EN I966 et I967

Les températures ont été relevées à Cantenac. Les durées d'ensoleillement ont été mesurées à la Station météorologique de Bordeaux-Mérignac.

En I967, les rendements ont été supérieurs d'environ 30 % à ceux de I966 mais, en examinant la constitution des moûts le 20 septembre I966 (tableau XXVI) et le 21 septembre I967 (tableau XXVII), on constate que, pour un sol donné, elle est sensiblement identique en ce qui concerne l'acidité totale, les teneurs en sucres et en acide tartrique. De même, les teneurs en potassium, qui est de très loin le cation le plus abondant, varient peu (de 39 à 41 méq. / l en I966 ; de 35 à 37 méq. / l en I967). La principale différence vient des teneurs en acide malique qui ont été plus élevées en I967. Si l'on n'a pas observé de grandes différences dans la constitution grossière des moûts, il n'en a pas été de même en ce qui concerne les caractères des vins. La dégustation des vins obtenus à Cantenac a montré que le millésime I966 est plus "riche" (arôme, tanin, couleur), plus puissant, plus moëlleux (souple), plus fin que le millésime I967. La totalité de la récolte a été conservée tandis qu'en I967 une partie des vins a dû être écartée pour qualité insuffisante.

Remarque

La notion de bon ou mauvais millésime doit être nuancée : un millésime peut être excellent dans un cru déterminé et simplement passable dans un cru voisin ; l'inverse peut s'observer si les conditions climatiques présentent des caractéristiques différentes. Ces faits peuvent s'expliquer,en grande partie, par le régime de l'eau lié à la nature des sols. On peut en voir un exemle typique dans deux grands crus de Léognan (COMPAGNON, I970).

Il est difficile de généraliser à partir des résultats de deux années, où, par une coïncidence heureuse, les conditions climatiques ont permis d'étudier essentiellement l'influence de l'alimentation en eau de la vigne. On constate néanmoins qu'une mauvaise alimentation en eau de la vigne, conséquence d'un assèchement progressif des profils, a permis d'obtenir,en I966, un vin d'une haute qualité. Cependant, une bonne alimentation en eau de la vigne n'aboutit pas à la production de vins médiocres, I967 étant ici un millésime de bonne qualité. C'est seulement une forte pluviosité se traduisant par une saturation en eau des profils (comme en I968), même si elle n'est que temporaire, qui a vraiment une influence défavorable sur la qualité des vins.

5. INFLUENCE de la RICHESSE DU SOL SUR LA CONSTITUTION des MOUTS

Les tableaux XXVI, XXVII et XXVIII montrent que la richesse du sol ne semble pas avoir d'influence notable sur la constitution grossière des moûts qui varie peu suivant les sols étudiés (elle diffère surtout pour le sol C où le cycle végétatif est plus tardif qu'en A, B et D). Par contre, les rendements sont beaucoup plus élevés sur les sols riches et ayant une constitution chimique équilibrée (sols C et D). En I967, année où l'alimentation en eau a été bonne dans tous les sols et n'a pas constitué un facteur limitant comme en I966, les rendements obtenus sur les sols C et D ont été respectivement supérieurs de 80 % et 40 % à ceux des sols A et B (qui étaient identiques). La teneur en sucres légèrement plus faible en C peut s'expliquer par une maturation plus tardive mais également par une trop forte production.

5. ACTION REGULATRICE DU SOL

Les sols typiques des grands crus médocains sont caractérisés par leur profondeur, leur perméabilité et leur faible capacité de rétention. Grâce à ces caractères, l'humidité du sols varie, d'une année à l'autre, dans des marges relativement étroites et cela quelle que soit la pluviosité. On a calculé le plus grand écart d'humidité entre le moment où le sol fût le plus humide et celui où il fût le plus sec au cours des années I966, I967 et I968. Ces écarts sont très faibles (tableau XXXII) sur les sols profonds et à faible capacité de rétention (sol A et B) contrairement au sol C. Il est également intéressant de faire ces calculs sur le premier mètre du sol, zone où les variations de la teneur en eau sont plus importantes.

Ce phénomène se manifeste surtout dans les terrains profonds portant une vigne suffisamment âgée qui a eu le temps de développer son système radiculaire en profondeur. C'est sans doute à cause d'une plus grande régularité dans leur alimentation en eau que les vieilles vignes du Médoc donnent un meilleur vin (certains grands crus éliminent le vin produit par des plants de moins de huit ans et le vendent à plus bas prix sous une appellation particulière). On comprend également que ces vignes donnent encore un vin de qualité (bien que nettement inférieur à celui des grands millésimes) lorsque l'été est caractérisé par des conditions climatiques médiocres.

En favorisant l'extension en profondeur du système radiculaire de la vigne, la pauvreté du sol pourrait donc être considérée, de ce point de vue, comme un facteur de qualité. Inversement, l'emploi abusif des engrais qui permet souvent l'établissement d'un système radiculaire superficiel, rend la vigne plus sensible aux excès d'humidité, notamment lorsque le sol est mal drainé.

La perméabilité du sol qui est un des caractères essentiels des grands crus médocains ne servirait à rien s'il n'existait pas un réseau hydrographique suffisant pour assurer le drainage des sols : ils resteraient saturés d'eau pendant la plus grande partie de l'année comme c'est le cas dans la Haute Lande (ENJALBERT, I960). On constate d'ailleurs que les meilleurs crus du Médoc sont situés sur les croupes bordant la vallée de la Gironde ou le cours des jalles. L'importance de cette situation privilégiée est connue empiriquement depuis fort longtemps. On a coutume de dire dans le pays que, pour donner un bon vin, "la vigne doit voir la rivière". Si c'est pour des raisons historiques et commerciales que les vignobles se sont autrefois établis le long des fleuves (DION, I959 ; ENJALBERT, I954), si de nos jours on considère que les plans d'eau jouent un rôle important dans la régulation des températures, c'est aussi par leur rôle dans le drainage des sols que les cours d'eau ont, du moins en Médoc, une influence sur la qualité des vins.

Sols		Plus forte humidité moyenne	Plus faible humidité moyenne	Ecarts
A	Ensemble du profil	19,9 % 24.9.68	16,6 % 27.9.66	3,3 %
	Premier mètre	13,5 % 24.9.68	9,8 % 27.9.66	3,7 %
B	Ensemble du profil	12,8 % 24.9.68	7,0 % 27.9.66	5,8 %
	Premier mètre	12,5 % 24.9.68	8,1 % 27.9.66	4,4 %
C	Ensemble du profil	25,8 % 24.9.68	10,8 % 27.9.66	15,0 %
	Premier mètre	24,6 % 24.9.68	7,1 % 27.9.66	17,5 %
D	Ensemble du profil	13,8 % 24.9.68	8,4 % 19.9.67	5,4 %
	Premier mètre	19,1 % 24.9.68	7,5 % 19.9.67	11,6 %

TABLEAU XXXII - ECARTS D'HUMIDITE ENTRE LE MOMENT OU LE SOL A ETE LE PLUS HUMIDE ET CELUI OU IL A ETE LE PLUS SEC AU COURS DES ANNES, 1966, 1967 et 1968

Les valeurs sont exprimées en humidité volumique pour cent.

Les dates correspondantes sont indiquées sous les valeurs de l'humidité.

L'été 1966 ayant été extrêmement sec et l'été 1968 anormalement pluvieux (humidité du sol supérieure ou égale à la capacité de rétention), il est peu vraisemblable que l'on puisse enregistrer dans l'avenir des écarts plus importants.

CONCLUSIONS GENERALES

L'objectif de ce travail était d'étudier des sols de vignobles nettement différenciés et de rechercher des relations entre divers éléments : nature physique et chimique du sol, répartition et profondeur de l'enracinement, profils hydriques et leurs variations, alimentation en eau de la vigne, conditions climatiques, constitution des moûts, caractères gustatifs des vins. Certains de ces éléments peuvent être chiffrés et déterminés avec une précision satisfaisante tandis que d'autres, et particulièrement le terme final, à savoir les caractères organoleptiques des vins, sont très subjectifs. Une difficulté supplémentaire est l'imbrication des facteurs en jeu qui intervient aux différents niveaux de ces relations successives; ainsi, l'alimentation en eau de la vigne dépend de la nature physique et chimique du sol, du mode d'enracinement, de l'état hydrique du profil, des conditions climatiques, etc.

Nous avons étudié une soixantaine de stations dans le vignoble bordelais. Certaines ont fait l'objet d'études plus approfondies : étude du sol sur toute la hauteur exploitée par les racines, alimentation en eau de la vigne, conditions microclimatiques et maturation du raisin. Mais, en raison du coût élevé de telles études et du temps considérable qu'elles nécessitent, nous n'avons pu les effectuer que sur une vingtaine de points.

Pour rédiger ce mémoire, il nous a donc fallu faire un certain nombre de choix : tout d'abord choix régional (le Haut-Médoc) et choix du cépage (le Merlot noir) afin de conserver à cette étude une certaine unité et la plus large possibilité de comparaisons. Il a fallu ensuite choisir les stations et notamment celles qui ont été étudiées d'une manière approfondie. Parmi ces dernières, nous en avons retenu quatre qui diffèrent essentiellement par la profondeur de l'enracinement, trois d'entre elles étant situées dans le même cru. Enfin, parmi les nombreux profils hydriques relevés (à l'aide d'un humidimètre à neutrons) au cours de la période de végétation, nous avons retenu seulement ceux qui caractérisent des stades déterminés du cycle végétatif ou qui, par l'effet des variations des conditions climatiques, présentaient entre eux des écarts accentués.

Il se trouve que, lors des études concernant l'alimentation en eau de la vigne, nous avons bénéficié de conditions climatiques très différentes au cours des trois premières années (1966, 1967, 1968) tandis que la quatrième année d'études (1969) ressemblait beaucoup à 1968. En faisant appel aux notions d'évapotranspiration potientelle et réelle, l'interprétation des résultats a montré qu'en 1966 l'alimentation en eau de la vigne a été fortement déficitaire; elle a été plutôt bonne en 1967; elle a pu se faire dans d'excellentes conditions en 1968 et 1969. Ainsi, les circonstances nous ont permis d'étudier, d'une manière aussi approfondie qu'il est actuellement possible de le faire dans ce domaine, douze situations différentes : quatre stations au cours de trois cycles végétatifs caractérisés par des conditions climatiques distinctes.

° °
°

Si les conditions climatiques et microclimatiques du Haut-Médoc en font une région privilégiée en raison de sa situation, de son exposition, de la proximité de plans d'eau importants et de forêts régularisant la température, de l'abondance des cailloux dont les "effets calorifiques" sont très sensibles sur une vigne cultivée au ras du sol, ces conditions ne peuvent expliquer à elles seules la grande qualité des vins produits. D'autres facteurs essentiels se trouvent dans la constitution chimique et physique du sol.

Constitution chimique du sol

Nous avons analysé de nombreux échantillons prélevés dans ces sols de vignobles; les résultats montrent que les teneurs en éléments minéraux assimilables, notamment en cations échangeables, sont faibles. Mais, grâce à l'extension en profondeur du système radiculaire de la vigne et à la richesse relative des couches profondes du sol, les quantités totales d'éléments assimilables se trouvant dans la zone exploitée par les racines sont importantes. Par contre, la pauvreté en azote qui est très générale (cet élément étant localisé dans les couches superficielles du sol) et, parfois, les pH trop bas et les antagonismes d'ions peuvent jouer le rôle de facteurs limitants. Dans ces conditions, la vigne se comporte comme si elle poussait sur un sol pauvre en tous éléments. La diminution de vigueur des ceps qui en résulte permet d'obtenir des vins de qualité mais en faible quantité.

Perméabilité du sol

Nous avons montré qu'un des caractères les plus importants des sols du Haut-Médoc est leur perméabilité. Elle est due, tout d'abord, à la texture grossière de la roche-mère qui favorise le drainage et, surtout, à la position topographique des grands crus, sur des croupes, en bordure de la Gironde ou des jalles, circonstances permettant l'écoulement des eaux de drainage. Les profils hydriques relevés aussitôt après des précipitations abondantes montrent que l'eau s'infiltre très rapidement : les teneurs en eau du sol n'excèdent que rarement et temporairement les valeurs correspondant à la capacité de rétention. De ce fait, à la suite de fortes pluies, l'alimentation en eau des vignes à enracinement profond est beaucoup moins perturbée sur ce type de sol que sur ceux à enracinement superficiel, imperméables et mal drainés, où la totalité des racines se trouve plongée dans un milieu saturé d'eau. En Médoc, la perméabilité des sols limite les effets d'une pluviosité excessive, notamment la dilution des sucres, l'augmentation d'acidité ainsi que l'éclatement des grains et le développement de la pourriture grise avec leurs conséquences préjudiciables à la qualité des vins. On a beaucoup plus de chances d'y récolter des raisins mûrs et sains que dans d'autres régions viticoles.

Alimentation en eau de la vigne

Nous avons vu que les teneurs en eau utile des sols du Haut-Médoc viticole sont très faibles. Mais si, comme pour les teneurs en éléments minéraux assimilables, on tient compte du volume du sol exploité par les racines, les quantités d'eau disponible pour les plantes sont beaucoup plus importantes que ne le laissent prévoir les résultats analytiques. Il faut cependant remarquer que l'évapotranspiration, au cours d'un mois sec et chaud, serait capable d'assécher fortement le sol et d'amener la teneur en eau de certains profils au voisinage du point de flétrissement. Mais nous avons vu que la présence d'une nappe phréatique dans le sous-sol des grands crus médocains laisse la possibilité à la vigne de s'alimenter facilement à ses dépens, soit que les radicelles puisent l'eau directement dans la frange capillaire, soit qu'après s'être développées à nouveau, elles absorbent celle laissée dans le sol par la nappe phréatique au fur et à mesure qu'elle s'abaisse. Avant la véraison du raisin, le sol et la nappe phréatique assurent donc une bonne alimentation en eau de la vigne, même au cours des périodes prolongées de sécheresse.

Par contre, à partir du mois d'août, le rôle de la nappe phréatique devient de plus en plus faible. Cela se traduit, au cours des étés peu pluvieux, par une réduction de l'alimentation en eau de la vigne qui est favorable à une bonne maturation du raisin.

Tous ces phénomènes qui limitent les effets d'une sécheresse comme d'une pluviosité excessives réalisent un type d'alimentation en eau présentant une certaine constance d'une année à l'autre : la teneur en eau du sol varie dans des marges très étroites, quelle que soit la pluviosité. On comprend ainsi que les grands crus du Médoc produisent encore un vin de qualité, bien que nettement inférieur à celui des grands millésimes, lorsque l'été est caractérisé par des conditions climatiques médiocres.

Profondeur du sol et du système radiculaire de la vigne

Ces actions régulatrices à l'échelle journalière, saisonnière, annuelle et même pluriannuelle, ne se manifestent que dans les sols perméables, constitués de "graves" profondes, où des vignes suffisamment âgées ont eu le temps de développer leur système radiculaire en profondeur. Lorsque la vigne est trop jeune ou lorsque les propriétés du sol ou encore une fumure excessive favorisent un enracinement superficiel, les ceps souffrent autant des excès d'humidité que de la sécheresse. La pauvreté relative des horizons superficiels, qui favorise le développement des racines dans les couches profondes du sol, peut donc être considérée, de ce point de vue, comme un facteur de régulation et par conséquent de qualité.

Concrétionnements ferriques

Les concrétionnements ferriques (appelés improprement "alios", du moins dans la plupart des cas) que nous avons observés à une plus ou moins grande profondeur dans les sols du Haut-Médoc viticole, se forment vraisemblablement à la suite des alternances d'humectations et de dessiccations, conséquences des variations saisonnières du niveau des nappes phréatiques. Ces concrétionnements ferriques ne semblent pas être eux-mêmes, comme on l'a prétendu, un facteur de qualité mais leur présence dans le sol indique un régime de l'eau favorable à une bonne maturation du raisin.

Influence du sol et de l'alimentation en eau de la vigne sur la maturation du raisin

Dans nos observations, la richesse minérale du sol n'a pas eu d'influence notable sur la constitution chimique des moûts : pour une année donnée, les teneurs en azote, en potassium, en sucres, en acide tartrique et en acide malique varient peu d'un point à l'autre. Par contre, les rendements sont nettement plus élevés sur les sols riches et ayant une constitution chimique équilibrée.

L'alimentation en eau de la vigne a une influence sur la production globale de sucres : elle peut être un facteur limitant comme ce fut le cas en 1966. Mais ses effets sont étroitement imbriqués avec ceux de la température et de la luminosité.

L'alimentation en eau de la vigne a également une influence sur la teneur en acides organiques du jus de raisin. Nous avons montré que les apports d'acide tartrique au raisin sont d'autant plus élevés que l'évapotranspiration réelle est importante. Le cas de l'acide malique est plus difficile à interpréter : nous avons néanmoins constaté que les jus de raisins provenant de sols humides sont toujours riches en acide malique et, d'autre part, que la teneur en acide malique du moût varie dans de larges proportions d'une année à l'autre et est d'autant plus importante que l'alimentation en eau de la vigne se fait dans de bonnes conditions.

Nous avons également montré qu'après de fortes pluies, l'alimentation en eau de la vigne, liée à la profondeur d'enracinement et à la perméabilité du sol, commande pour une grande part l'éclatement des grains qui, dans nos observations, a toujours précédé l'invasion du raisin par la pourriture grise.

° ° °

Au cours de cette étude, nous avons essayé de déterminer, dans une région délimitée, les principaux facteurs liés à la nature des sols qui ont une influence sur la qualité des vins. Ce problème a été abordé sous un aspect nouveau, en mettant l'accent sur l'alimentation hydrique et minérale de la vigne suivant la profondeur du sol et du système radiculaire. Malgré l'interférence de nombreux facteurs, il a été possible de mettre en évidence certains d'entre eux qui ont une influence prépondérante.

Il faut toutefois constater que la solution du problème ne pouvait être qu'ébauchée car il est actuellement difficile d'expliquer d'une manière satisfaisante les différences que l'on observe entre les vins produits dans une même région. Les variations entre les sols de différents crus, même étudiés en profondeur, ne sont pas toujours significatives. Le cru est un tout complexe où la situation, le site, les microclimats, les sols, les cépages, les porte-greffes, les soins du viticulteur et du vinificateur apportent leur contribution à l'élaboration d'un vin de qualité.

° ° °

BIBLIOGRAPHIE

ABDEL HALIM S.M., 1932. Contribution à l'étude du sol du Médoc et du sol égyptien, 84 p. *Thèse de Doctorat d'Université*, Bordeaux.

ANDRIEUX C., BUSCARLET L., GUITTON J. et MERITE B., 1962. Mesure en profondeur de la teneur eu eau des sols par ralentissement des neutrons rapides. *Industries atomiques 3-4*,63-70 et *5-6*, 72-80.

BONNEAU M., 1961. Evaluation au laboratoire de la capacité au champ en fonction de la texture. *Bull. A.F.E.S.*,16-26.

BOUARD J., 1966. Recherches physiologiques sur la vigne et en particulier sur l'aoûtement des sarments, 344 p. *Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles*, Bordeaux.

Bulletin climatologique mensuel de la Gironde. Commission météorologique départementale de la Gironde, Bordeaux.

BRANAS J., BERNON G. et LEVADOUX L., 1946. *Eléments de viticulture générale*, 400 p. Ecole Nationale d'Agriculture,Montpellier.

CARTES géologiques au 1:80.000 n°170 et 180.

COCKS C. et FERET E., 1922. *Bordeaux et ses vins classés par ordre de mérite*. 1130 p. 9° éd. Féret et fils, Bordeaux.

COMPAGNON J., 1970. Alimentation en eau de la vigne dans quelques sols des Graves . Influence sur le raisin. *Thèse Doctorat 3° Cycle*,Bordeaux.

COURAU M., 1962. Etude des sols d'un domaine de l'Entre-deux-Mers 53 p. *Diplôme d'Etudes supérieures*, Bordeaux.

DELAS J., DELMAS J., RIVES M. et BAUDEL C., 1959. Toxicité du cuivre dans les sols viticoles du Sud-Ouest atlantique. *C.R. Acad.agric.*,651-655.

DEMOLON A., 1960. *Dynamique du sol*,520 p., 5° éd.,Dunod, Paris.

DION R., 1959. *Histoire de la vigne et du vin en France, des origines au XIX° siècle*,771 p., Sévin Impr.,Paris.

DUCHAUFOUR P., 1957. *Pédologie - Tableaux descriptifs et analytiques des sols*, 87 p. Ecole Nationale des Eaux et Forêts,Nancy.

DUCHAUFOUR P., 1965. *Précis de pédologie*,481 p.,2° éd.,Masson, Paris.

ENJALBERT H., 1954. *Comment naissent les grands crus : Bordeaux, Porto, Cognac*, 32 p., A.Colin,Paris.

ENJALBERT H., 1961. *Les pays aquitains*,618 p.,tome I (*Le modelé et les sols*),Bière Impr.,Bordeaux.

FABRE A., 1939. *Les terrains de revêtement du Médoc*,346 p.,Drouillard Impr.,Bordeaux.

GALET P., 1956, 1958, 1962, 1964. *Cépages et vignobles de France*, 3500 p., 4 tomes, Déhan et Paysan du Midi Impr., Montpellier.

GUILLON J.M., 1905. *Etude générale de la vigne*, 451 p., Masson, Paris.

HENIN S., FEODOROFF A., GRAS R. et MONNIER G., 1960. *Le profil cultural*, 320 p., Société d'Editions des Ingénieurs Agricoles Paris.

HEYNARD F., 1956. *Contribution à l'étude du climat bordelais*. La Météorologie,43,12 p.

INRA, 1964. *L'eau et la production végétale*, 455 p., Institut National de la Recherche Agronomique, Paris.

KUHNHOLTZ-LORDAT G., 1953. La chaine de la qualité en matière de délimitation viticole. *C.R.Acad.agric.*,*29*,684-686.

KUHNHOLTZ-LORDAT G., 1963. *La genèse des appellations d'origine des vins*, 148 p., Buget Comptour Impr.,Mâcon.

LAFFORGUE G. et THIERRY P., 1929. *La culture de la vigne dans le bordelais*, 96 p., Baillère éd.,Paris.

LAFFORGUE G., RIEDEL C.E. et FRANC de FERRIERE J., 1936. *Les Graves de Bordeaux*, 118 p., Direction des Services Agricoles de la Gironde, Bordeaux.

LAFFORGUE G., 1947. *Le vignoble girondin*,324 p., L.Larmat,Paris.

LEFEVRE P., 1961. Capacité d'échange. Discussion et choix des méthodes. *Ann.Agron.*,*12*,169-203.

LEVADOUX L., 1961. *La vigne et sa culture*. 126 p., Que sais-je, P.U.F., Paris.

LOUSTAUNAU de GUILHEM., 1956. *La vigne et le vin*, 184 p., Editions de Montsouris, Paris.

MAERTENS C., MORIZET J. et STUDER R., 1965. Modalités d'utilisation en agronomie d'un humidimètre à ralentissement de neutrons. *Ann.Agron., 1*,5-23.

MARRES P., 1950. *La vigne et le vin en France*,224 p., A.Colin, Paris.

MOREAU L.,et VINET E., 1932. Rôle des matières de réserve de la vigne dans la mise à fruit des cépages et dans la véraison des raisins. *Ann.Agron.*,363-374.

MOUTONNET P., BUSCARLET L. et MARCESSE J., 1967. Emploi d'un humidimètre à neutrons de profondeur associé à un réflecteur pour la mesure de la teneur en eau des sols au voisinage de la surface. *Ann. I.T.B.T.P., 233*,5 p.

MÜNTZ M.A., 1895. *Les vignes*, 577 p., Berger Levrault & C°,Paris.

PETIT-LAFITTE A., 1868. *La vigne dans le bordelais*, 692 p., J.Rothschild, Paris.

POULAIN R. et JACQUELIN L., 1960. *Vignes et vins de France*, 405 p., Flammarion, Paris.

RIBEREAU-GAYON J. et PEYNAUD E., 1960. *Traité d'oenologie*, 1818 p., 2 tomes, Béranger, Paris.

RIBEREAU-GAYON G., 1966. Etude du métabolisme des glucides, des acides organiques et des acides aminés chez *Vitis vinifera* L. 148 p., *Thèse de Doctorat ès Sciences Physiques*, INRA, Paris.

SEGUIN G., 1965. Etude de quelques profils de sols du vignoble bordelais, 107 p., *Thèse de Doctorat de 3°Cycle*, Bordeaux.

SEGUIN G., 1967. Alimentation en eau de la vigne dans des sols de la région de Margaux (Médoc) - Premiers résultats. *C.R.Acad. agric.*,*53*,332-338.

SEGUIN G., 1968. Les discontinuités texturales dans les sols du vignoble bordelais. *Conn.Vigne Vin*,*2*,127-134.

SEGUIN G., 1969. L'alimentation en eau de la vigne dans des sols du Haut-Médoc. *Conn.Vigne Vin*, *2*,93-141.

SEGUIN G., COMPAGNON J. et RIBEREAU-GAYON J., 1969. Le développement de *Botrytis cinerea* sur *Vitis vinifera* en fonction de la profondeur d'enracinement et du régime de l'eau dans le sol. *C.R.Acad.Sci.*,*269 D*, 770-772.

SEGUIN G. et COMPAGNON J., 1970. Une cause du développement de la pourriture grise sur les sols gravelo-sableux du vignoble bordelais. *Conn.Vigne Vin*, *2*, 203-214.

STRASMAN A., QUIDET P. et BLANCHET R., 1958. Dynamique du potassium dans le sol et alimentation potassique des plantes. *Ann. Agron., V,* 635-658.

TRINQUET P., 1954. *Viticulture,* 224 p., La maison rustique, Paris.

ZAMORANO M., 1964. Le Médoc viticole, 89 p., *Thèse de Doctorat d'Université,* Institut de Géographie, Bordeaux.